РАО «ЕЭС РОССИИ»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ОТКРЫТОГО ТИПА
ВСЕРОССИЙСКИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(ВТИ)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ОТКРЫТОГО ТИПА
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
им. И.И. ПОЛЗУНОВА
(НПО ЦКТИ)

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛОВ

(НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД)

Издание третье, переработанное и дополненное

Санкт-Петербург
1998

РАО «ЕЭС РОССИИ»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ОТКРЫТОГО ТИПА
ВСЕРОССИЙСКИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(ВТИ)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ОТКРЫТОГО ТИПА
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
им. И.И. ПОЛЗУНОВА
(НПО ЦКТИ)

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛОВ

(НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД)

Издание третье, переработанное и дополненное

Санкт-Петербург
1998

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 7

Глава первая. **Общие положения** 9

Глава вторая. **Топливо** 10

2-А. Твердое и жидкое топливо 10

а) Теплота сгорания 10

б) Различные массы топлива и пересчет характеристик с одной массы на другую 10

в) Классификация углей 12

г) Классификация торфа 14

д) Классификация жидких топлив 14

2-Б. Газообразное топливо 14

2-В. Смеси топлив 15

2-Г. Расчетные характеристики топлива 16

Глава третья. **Физические характеристики рабочих тел** 18

Глава четвертая. **Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания** 22

4-А. Расчеты объемов и энтальпий 22

4-Б. Коэффициент избытка воздуха и присосы в котле 27

Глава пятая. **Тепловой баланс котла** 28

Глава шестая. **Расчет теплообмена в топке** 34

6-А. Геометрические характеристики топки 34

6-Б. Радиационные свойства продуктов сгорания 37

6-В. Расчет суммарного теплообмена в топке 39

Глава седьмая. **Расчет конвективных и ширмовых поверхностей нагрева** . . . 44

7-А. Основные уравнения 44

7-Б. Коэффициент теплопередачи 49

а) Основные положения 49

б) Коэффициент теплоотдачи конвекцией 54

в) Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания 65

г) Коэффициенты загрязнения, использования и тепловой эффективности поверхностей нагрева 68

7-В. Температурный напор 72

Глава восьмая. **Определение расчетной температуры металла стенок труб** . . 79

Глава девятая. **Рекомендации по методике расчета котла** 101

9-А. Порядок и последовательность расчета 101

9-Б. Расчет топки 103

9-В. Расчет перегревателя 104

9-Г. Расчет фестона 106

9-Д. Расчет промежуточного перегревателя. 107
9-Е. Расчет экономайзера и газоводяных подогревателей (ГВП) 107
9-Ж. Расчет воздухоподогревателя 107

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. **Условные обозначения** 109
Приложение II. **Краткие указания по проектированию топочных устройств и поверхностей нагрева** 115
II-А. Топочные устройства 115
а) Общие положения 115
б) Пылеугольные камерные топки 115
в) Камерные топки для сжигания мазута и газа 117
г) Слоевые топки 117
II-Б. Поверхности нагрева 117
Приложение III. **Указания по расчету пароохладителей и теплообменников** 124
III-А. Впрыскивающие пароохладители 124
III-Б. Паропаровые теплообменники 126
III-В. Теплообменники для получения «собственного» конденсата и поверхностные пароохладители 127

ТАБЛИЦЫ

I. Расчетные характеристики твердых топлив 129
II. Состав, характеристики плавкости и шлакуемости твердых топлив 134
III. Расчетные характеристики жидких топлив 139
IIIа. Состав золы жидких топлив 139
IV. Расчетные характеристики газообразных топлив 140
V. Средняя теплоемкость воздуха и газов. 141
VI. Физические характеристики воздуха и дымовых газов 141
VII. Коэффициент динамической вязкости воды и водяного пара 142
VIII. Коэффициент теплопроводности воды и водяного пара 144
IX. Критерий Pr физических свойств воды и водяного пара 146
X. Физические характеристики газообразных топлив 148
XI. Средняя теплоемкость горючих газов 149
XII. Объемы воздуха и продуктов сгорания твердых и жидких топлив 150
XIII. Объемы воздуха и продуктов сгорания газообразных топлив. 152
XIV. Энтальпии 1 м^3 газов и воздуха и 1 кг золы 153
XV. Энтальпии воздуха и продуктов сгорания на 1 кг твердых и жидких топлив 166
XVI. Энтальпии воздуха и продуктов сгорания на 1 м^3 газообразных топлив 168
XVII. Присосы воздуха в котлах и системах пылеприготовления на номинальной нагрузке 171

XVIII. Расчетные характеристики камерных топок с твердым шлакоудалением для котлов производительностью ≥ 10 кг/с . . . 173
XIX. Расчетные характеристики камерных топок с жидким шлакоудалением для котлов производительностью ≥ 45 кг/с . . . 174
XX. Расчетные характеристики камерных топок газомазутных котлов производительностью ≥ 45 кг/с . . . 175
XXI. Расчетные характеристики слоевых топок для котлов производительностью ≥ 1 кг/с . . . 176
XXII. Степень выгорания топлива β_{cr} по высоте топки (по поданному в топку количеству топлива) . . . 178
XXIII. Удельные объемы и энтальпии сухого насыщенного пара и воды на кривой насыщения . . . 179
XXIV. Удельные объемы и энтальпии воды 181
XXV. Удельные объемы и энтальпии перегретого пара и воды при докритическом давлении . . . 184
XXVI. Удельные объемы и энтальпии при сверхкритическом давлении . . . 196
XXVII. Удельные объемы и энтальпии в критической и околокритической областях . . . 200

НОМОГРАММЫ

1. Угловые коэффициенты экранов . . . 214
2. Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания . . . 215
3. Эффективное значение критерия Бугера . . . 216
4. Температура газов на выходе из топки. . . . 217
5. Коэффициент теплопередачи чугунных ребристых экономайзеров . . . 218
6. Коэффициент эффективности ребер . . . 219
7. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков и ширм . . . 220
8. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков. . . . 222
9. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании мембранных и плавниковых коридорных пучков и ширм . . . 224
10. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании мембранных и плавниковых шахматных пучков. . . . 226
11. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для воздуха и дымовых газов . . . 228
12. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для перегретого пара . . . 230
13. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном омывании для некипящей воды . . . 231
14. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для регенеративных воздухоподогревателей . . . 232
15. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для перфорированных набивок регенеративных воздухоподогревателей . . . 234
16. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для пластинчатых воздухоподогревателей при $Re < 10^4$ . . . 236

17. Степень черноты продуктов сгорания 237
18. Коэффициент теплоотдачи излучением 238
19. Температурный напор при схеме последовательно-смешанного тока 239
20. Температурный напор при схеме параллельно-смешанного тока 240
21. Температурный напор при схеме перекрестного тока 241
22. Коэффициент облученности точек с максимальным удельным тепловосприятием для труб шахматных пучков 242
23. Коэффициент влияния среды на коэффициент теплоотдачи в области больших теплоемкостей 243
24. Коэффициент растечки для труб конвективных поверхностей нагрева. 244
25. Коэффициент растечки в лобовой точке экранных труб 245
26. Коэффициент растечки в лобовых точках труб двусветных экранов и топочных ширм 245
27. Коэффициент растечки в лобовых точках мембранных и плавниковых труб двусветных экранов и топочных ширм 245
28. Поправка на смещение проставки. Коэффициент учета влияния сварных швов . . 246
29. Коэффициент растечки в корне проставки радиационных поверхностей нагрева . 247
30. Коэффициент растечки в середине проставки. 246
31. Коэффициент формы плавника 248
32. Поправка к коэффициенту растечки при двустороннем облучении 249
33. Коэффициент растечки в лобовой точке плавниковых труб при конвективном тепловосприятии 249
34. Коэффициент растечки в корне проставки при конвективном тепловосприятии . . 250
35. Коэффициент концентрации теплового потока в основании шипа. 251
36а. Коэффициент растечки для ошипованной трубы. 252
36б. Комплекс A для ошипованной трубы 253
37. Параметр $\gamma_1 = f(mh_{рб}, \delta_{рб}/d, \delta_{рб}/h_{рб})$ 254
38. Параметр $\gamma_3 = f(mh_{рб}, \delta_{рб}/h_{рб})$ 254
39. Параметр $\gamma_4 = f(Bi_2, \beta, \delta_{рб}/d)$ 255
40. Параметр $\gamma_7 = f(Bi_{2*}, \beta, \delta_{рб}/d)$ 255
41. Безразмерная температура в середине проставки 255
42. Длина испарительного участка впрыскивающего пароохладителя 256

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прошедшие двадцать пять лет со времени выхода разработанного ВТИ и ЦКТИ Нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов подтвердили правильность принятых и положенных в его основу подходов и методов организации теплового расчета котлов. Поэтому при подготовке настоящего Нормативного метода не возникала необходимость в принципиальной переработке методов и структуры теплового расчета котла.

В то же время пересмотр Нормативного метода был необходим для приведения его в соответствие с новыми экспериментальными материалами, для учета опыта освоения и эксплуатации газоплотных котлов блоков 500, 800 и 1200 МВт, особенностей сжигания углей новых месторождений, современного уровня топочной техники пылеугольных котлов и котлов с новой технологией сжигания. В наибольшей степени это касалось расчета теплообмена в топочных камерах. Расширился диапазон конструктивных параметров существующих котельных поверхностей нагрева, внедрены новые более перспективные и эффективные их конструкции.

Значительный прогресс достигнут научно-исследовательскими, наладочными организациями и котлостроительными заводами в усовершенствовании техники расчетов, в обобщении опыта проектирования и освоения котлов. Все это существенно расширило и обогатило экспериментальную, расчетную и теоретическую базу для разработки настоящего Нормативного метода теплового расчета котлов.

К разработке Нормативного метода теплового расчета котлов было привлечено большое число специалистов АООТ ВТИ, АООТ НПО ЦКТИ, «Фирмы ОРГРЭС», котельных заводов и других организаций. Отбор и классификацию расчетных и экспериментальных материалов для анализа, обработку и обобщение их, окончательный выбор формул и зависимостей, составление текста и рекомендаций осуществлял коллектив сотрудников АООТ ВТИ и АООТ НПО ЦКТИ: А.А. Абрютин, Э.С. Карасина, Р.А. Петросян, В.Н. Фомина (АООТ ВТИ), А.Г. Блох, С.И. Мочан, В.С. Назаренко, Е.К. Чавчанидзе (АООТ НПО ЦКТИ).

Для сохранения преемственности в настоящем Нормативном методе принято, в основном, такое же распределение материала по главам, как и в предыдущем издании 1973 г. Только раздел «Определение расчетной температуры металла стенок труб» ввиду его возросшей важности перенесен из приложений в основной текст (глава 8).

Рекомендации по проектированию топочных устройств включены в данный метод в сокращенном объеме, так как подробное их изложение имеется во вновь выпущенных «Методических указаниях по проектированию топочных устройств для энергетических котлов»(НПО ЦКТИ, СПб, 1996).

В переработке, дополнении или уточнении и составлении отдельных глав принимали участие:
глава 2 - В.С. Вдовченко, Э.П. Дик, Г.Д. Юшина, И.А. Кузьмина (ВТИ);
глава 3 - А.Д. Горбатенко, О.И. Трактуев (ВТИ);
главы 4, 5 - Э.С. Карасина, Ю.Л.Маршак, А.А. Абрютин, М.Н. Майданик, И.И. Волков (ВТИ), Л.Н. Гусев, Н.Г. Жмерик, В.С. Назаренко, С.И. Мочан (НПО ЦКТИ);
главы 6, 9 - В.В.Митор, А.Г. Блох, Л.Н. Гусев, И.Н. Конопелько (НПО ЦКТИ), Э.С. Карасина, А.А. Абрютин, Э.Л. Гудкевич (ВТИ);
главы 7, 9 - Р.А. Петросян, Э.С. Карасина, А.А. Абрютин, В.Н. Фомина, С.Ю. Белов, Л.П. Данилова (ВТИ), В.С. Назаренко, С.И. Мочан, В.К. Мигай, П.Г. Быстров, В.А.Пасмурнова (НПО ЦКТИ);

глава 8 - С.И. Мочан, Г.М. Каган (НПО ЦКТИ), А.А. Абрютин, Э.С. Карасина (ВТИ);
приложение II - В.С. Назаренко, Н.Г. Жмерик, Л.Н. Гусев, Л.Я. Еременко, В.Ф. Романов (НПО ЦКТИ), Р.А.Петросян, В.А. Петров, М.Н. Майданик, А.А. Васильев (ВТИ), И.Д. Лисейкин, М.И. Мартынычев (ЗиО);
приложение III - С.И. Мочан, Б.Н. Пуганов (НПО ЦКТИ), А.А. Абрютин, Э.С. Карасина, В.Н.Черняк (ВТИ);

Использовались новые экспериментальные и расчетные материалы перечисленных выше специалистов, а также Ю.В. Вихрева, А.В. Филатова, А.Ю. Антонова, С.В. Басенко, Г.И. Елфимова, С.И. Сучкова, В.Н. Птицыной, М.Я. Процайло, А.Н. Ефименко, М.С. Пронина, О.И. Ослопова, А.И. Гончарова (ВТИ), Б.Н. Пуганова, В.С. Уткина, И.Н. Комисарчика, А.К. Козлова, О.А. Тасса, Н.В. Сергеева, А.Н. Гуляева, И.И. Федорова, Т.В. Махровой, С.А. Маргулиса, А.Ф. Попова, В.Б. Матусова, В.И.Донецкого, Я.П.Сторожука, Н.В. Благово, В.Н. Головина, С.Н. Эглита, В.И. Антоновского, В.Р. Теренкаля, А.А. Шатиля, С.Л.Шагаловой, П.А. Иванова (НПО ЦКТИ), В.Н. Андрианова (ЭНИН), Ф.А. Серанта, В.В. Холщева («Фирма ОРГРЭС»), Е.Н. Письменного (КПИ), В.Д. Комягина (ЗиО).

Редактирование книги выполнили С.И. Мочан, А.А. Абрютин, Г.М. Каган, В.С. Назаренко.

В данном Нормативном методе применена система единиц СИ. С учетом того, что до настоящего времени применяется система единиц, основанная на килограмм-силе и калории, ниже приводится таблица соотношения между основными величинами в указанных системах единиц.

Значение единиц, основанных на килограмм-силе и калории, в единицах СИ, кратных и дольных от них

Наименование величин	Обозначение	Значение в единицах СИ	Значение в единицах, основанных на килограмм - силе и калории
Давление	p	1 МПа	10,2 кгс/см^2
Энтальпия (удельная)	I, i	1 кДж/кг	0,239 ккал/кг
Теплоемкость (удельная)	c	1 кДж/(кг·К) 1 кДж/(м^3·К)	0,239 ккал/(кг·°С) 0,239 ккал/(м^3·°С)
Тепловой поток (количество теплоты)	Q	1 Вт	0,86 ккал/ч
Коэффициент динамической вязкости	μ	1 Па·с	0,102 кгс·сек/м^2
Коэффициент теплопроводности	λ	1 Вт/(м·К)	0,86 ккал/(м·ч·°С)
Коэффициент теплоотдачи, теплопередачи	α, k	1 Вт/(м^2·К)	0,86 ккал/(м^2·ч·°С)
Тепловое напряжение объема топки	q_V	1 Вт/м^3	0,86 ккал/(м^3·ч)
Тепловое напряжение площади сечения топки	q_F	1 Вт/м^2	0,86 ккал/(м^2·ч)

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1-01. «Тепловой расчет котлов» содержит методические указания, справочные материалы, расчетные формулы и номограммы, необходимые для выполнения поверочного и конструктивного (проектного) тепловых расчетов котлов.

1-02. В поверочном тепловом расчете по принятой конструкции и размерам котла для заданных нагрузки и вида топлива определяют температуры воды, пара, воздуха и газов на границах между отдельными поверхностями нагрева, коэффициент полезного действия, расход топлива, расход и скорости пара, воздуха и дымовых газов.

Поверочный расчет производят для оценки показателей экономичности и надежности котла при работе на заданном топливе, выявления необходимых реконструктивных мероприятий, выбора вспомогательного оборудования и получения исходных материалов для проведения расчетов: аэродинамического, гидравлического, температуры металла и прочности труб, интенсивности золового износа труб, коррозии и др.

1-03. В конструктивном тепловом расчете определяют размеры топки и поверхностей нагрева котла, необходимых для обеспечения номинальной (наибольшей) производительности в длительной эксплуатации при номинальных величинах параметров пара и питательной воды, принятых показателях экономичности и характеристиках топлива.

Результаты конструктивного расчета используются для выбора вспомогательного оборудования и оценки аэродинамических, гидравлических, прочностных и других характеристик надежности котла.

1-04. Задание для поверочного теплового расчета котла должно содержать следующие данные:

а) чертежи котла и сведения о конструкции и размерах топки, поверхностей нагрева и газоходов, необходимые для определения конструктивных характеристик, используемых в расчете, схемы движения теплоносителей;

б) характеристики топлива;

в) производительность котла, давление и температуры питательной воды и перегретого пара перед главной паровой задвижкой;

г) расход и параметры вторичного пара на входе и выходе из промежуточных перегревателей (при их наличии);

д) расход насыщенного пара (при отборе пара из барабана котла);

е) величину непрерывной продувки;

ж) места отбора и сброса впрысков, байпасов, рециркуляции рабочих сред, их количества;

з) для котлов на твердом топливе данные расчета системы пылеприготовления: количество аэросмеси, первичного воздуха и топочных газов, отбираемых на сушку, количество присосанного воздуха в системе пылеприготовления, влажность и температуру пыли.

1-05. При конструктивном (проектном) тепловом расчете задание должно содержать сведения о компоновке котла, системе пылеприготовления, типе топочного устройства; пункты «б» - «з» те же, что и в задании на поверочный тепловой расчет.

Температуру уходящих газов и горячего воздуха указывают в задании или выбирают в соответствии с рекомендациями приложения II и конкретными условиями объекта проектирования.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТОПЛИВО

2-А. Твердое и жидкое топливо

а) Теплота сгорания

2-01. Теплота сгорания твердого и жидкого топлива принимается по данным калориметрических определений. Использование для расчета значений теплоты сгорания, подсчитанных по составу топлива при помощи эмпирических формул, не рекомендуется.

2-02. Теплота сгорания высшая Q_s^a вычисляется по теплоте сгорания в калориметрической бомбе $Q_б^a$, исправленной с учетом теплоты кислотообразования при сжигании навески топлива

$$Q_s^a = Q_б^a - \left(\beta S_t^a + \alpha Q_б^a\right), \text{ кДж/кг,} \qquad (2\text{-}01)$$

где β - коэффициент, учитывающий теплоту образования серной кислоты при окислении продуктов сгоревшей в бомбе серы S_t^a, %, от SO_2 до SO_3 и растворении последней в воде. Численно этот коэффициент равен 94 кДж на 1 % серы;

α - коэффициент, учитывающий теплоту образования азотной кислоты, и равный: 0,001 для тощих углей, антрацитов и жидкого топлива и 0,0015 - для других углей, сланцев и торфа

2-03. Теплота сгорания низшая Q_i находится вычитанием из теплоты сгорания высшей Q_s теплоты парообразования воды, содержащейся в топливе и образующейся при сгорании водорода топлива

$$Q_i = Q_s - 24{,}42\left(W + 8{,}94H\right), \text{ кДж/кг.} \qquad (2\text{-}02)$$

2-04. При сжигании в калориметрической бомбе сланцев и других топлив, содержащих карбонаты, последние в большинстве случаев разлагаются полностью. Поэтому теплота сгорания по (2-02) при калориметрировании определяется с учетом теплового эффекта разложения карбонатов - $[-40(CO_2)_{крб}]$, кДж/кг.

б) Различные массы топлива и пересчет характеристик с одной массы на другую

2-05. Характеристики топлива могут быть отнесены:

- к рабочей массе топлива (обозначаемой индексом «r»), т.е. к топливу в том виде, в котором оно поступает для потребления (в котельную, на пылезавод и т.п.);
- к сухой массе (обозначаемой индексом «d»), т.е. к топливу, не содержащему влаги;
- к сухой беззольной массе (обозначаемой индексом «daf»), т.е. к условной массе топлива за вычетом массы общей влаги и золы.

Для всех топлив, кроме содержащих заметное количество карбонатов, за сухую беззольную массу принимают $(100-W-A)$, где 100 - рабочая или аналитическая масса топлива, %.

Для топлив с содержанием карбонатов более 2 % за сухую беззольную массу принимают

$$100 - W - A_{испр} - \left(CO_2\right)_{крб},$$

где $(CO_2)_{крб}$ - содержание диоксида углерода карбонатов, %;

$A_{испр}$ - зольность без учета сульфатов, образовавшихся при разложении карбонатов, и с поправкой на сгорание серы пиритной, %.

Для рабочей массы

$$A_{испр}^r = A^r - \left[2{,}5\left(S_A^d - S_{SO_4}^d\right) + 0{,}375S_p^d\right]\frac{100 - W_t^r}{100}, \text{ %,} \qquad (2\text{-}03)$$

где S_A^d - содержание серы в лабораторной золе в процентах к массе топлива;

$S_{SO_4}^d$ - содержание сульфатной серы в топливе, %;

S_p^d - содержание пиритной серы в топливе, %.

При отсутствии лабораторных данных о содержании сульфатов величину $\left[2{,}5\left(S_{\text{A}}^{\text{d}}-S_{\text{SO}_4}^{\text{d}}\right)+0{,}375S_{\text{p}}^{\text{d}}\right]$ принимают равной для эстонских и ленинградских сланцев 2,0, кашпирских - 4,1.

Такая особенность расчета объясняется тем, что при горении топлив с большим содержанием карбонатов последние (в основном $CaCO_3$, $MgCO_3$ и $FeCO_3$) разлагаются на оксид металла и CO_2. Оксиды металлов остаются в золе и в результате частичного присоединения оксидов серы образуют сульфаты.

Из определений каждой массы топлива (кроме сланцев) следуют соотношения:

$$C^{\text{r}}+H^{\text{r}}+N^{\text{r}}+O^{\text{r}}+S_{\text{p}}^{\text{r}}+S_{\text{o}}^{\text{r}}+A^{\text{r}}+W_{\text{t}}^{\text{r}}=100\%;$$
$$C^{\text{d}}+H^{\text{d}}+N^{\text{d}}+O^{\text{d}}+S_{\text{p}}^{\text{d}}+S_{\text{o}}^{\text{d}}+A^{\text{d}}=100\%;$$
$$C^{\text{daf}}+H^{\text{daf}}+N^{\text{daf}}+O^{\text{daf}}+S_{\text{p}}^{\text{daf}}+S_{\text{o}}^{\text{daf}}=100\%.$$

Для горючих сланцев к зольности A^{r} и A^{d} следует прибавить содержание диоксида углерода карбонатов соответственно $\left(CO_2\right)_{\text{крб}}^{\text{r}}$ и $\left(CO_2\right)_{\text{крб}}^{\text{d}}$.

2-06. Пересчет состава топлива, выхода летучих веществ и высшей теплоты сгорания с одной массы топлива на другую производится в соответствии с табл. 2-1.

Таблица 2-1

Заданная масса топлива	Искомая масса топлива		
	рабочая	сухая	сухая беззольная
Рабочая	1	$\frac{100}{100-W_{\text{t}}^{\text{r}}}$	$\frac{100}{100-W_{\text{t}}^{\text{r}}-A^{\text{r}}}$
Сухая	$\frac{100-W_{\text{t}}^{\text{r}}}{100}$	1	$\frac{100}{100-A^{\text{d}}}$
Сухая беззольная	$\frac{100-W_{\text{t}}^{\text{r}}-A^{\text{r}}}{100}$	$\frac{100-A^{\text{d}}}{100}$	1

Для сланцев пересчет состава (C, H, N, O, S_{p}, S_{o}) и высшей теплоты сгорания с рабочей массы на сухую беззольную массу производится при помощи множителя

$$\frac{100}{100-W_{\text{t}}^{\text{r}}-A_{\text{испр}}^{\text{r}}-\left(CO_2\right)_{\text{крб}}^{\text{r}}}.$$

Элементный состав и высшая теплота сгорания рабочей массы топлива влажностью W_{t1}^{r} и зольностью A_1^{r} на массу влажностью W_{t2}^{r} и зольностью A_2^{r} (при неизменном составе сухой беззольной массы) пересчитываются умножением на отношение $\frac{100-W_{\text{t2}}^{\text{r}}-A_2^{\text{r}}}{100-W_{\text{t1}}^{\text{r}}-A_1^{\text{r}}}$.

При содержании в топливе диоксида углерода карбонатов $(CO_2)_{\text{крб}}^{\text{r}}$ пересчет производится умножением на отношение

$$\frac{100-W_{\text{t2}}^{\text{r}}-A_{\text{испр2}}^{\text{r}}-\left(CO_2\right)_{\text{крб2}}^{\text{r}}}{100-W_{\text{t1}}^{\text{r}}-A_{\text{испр1}}^{\text{r}}-\left(CO_2\right)_{\text{крб1}}^{\text{r}}}.$$

2-07. Низшая теплота сгорания топлива подсчитывается по формулам

$$Q_i^r = Q_s^r - 24{,}42\left(W_t^r + 8{,}94H^r\right),\ \text{кДж/кг;} \qquad (2\text{-}04)$$

$$Q_i^d = Q_s^d - 220H^d,\ \text{кДж/кг;} \qquad (2\text{-}05)$$

$$Q_i^{daf} = Q_s^{daf} - 220H^{daf},\ \text{кДж/кг;} \qquad (2\text{-}06)$$

$$Q_i^r = Q_i^{daf}\frac{100 - W_t^r - A^r}{100} - 24{,}42W_t^r,\ \text{кДж/кг.} \qquad (2\text{-}07)$$

Низшая теплота сгорания рабочей массы топлива влажностью W_{t1}^r пересчитывается на топливо влажностью W_{t2}^r по формуле

$$Q_{i2}^r = \left(Q_{i1}^r + 24{,}42W_{t1}^r\right)\frac{100 - W_{t2}^r}{100 - W_{t1}^r} - 24{,}42W_{t2}^r,\ \text{кДж/кг.} \qquad (2\text{-}08)$$

При изменении зольности рабочей массы топлива при неизменной влажности пересчет Q_i^r производится по формуле

$$Q_{i2}^r = \left(Q_{i1}^r + 24{,}42W_t^r\right)\frac{100 - W_t^r - A_2^r}{100 - W_t^r - A_1^r} - 24{,}42W_t^r,\ \text{кДж/кг.} \qquad (2\text{-}09)$$

При одновременном изменении влажности и зольности для пересчета используется формула

$$Q_{i2}^r = \left(Q_{i1}^r + 24{,}42W_{t1}^r\right)\frac{100 - W_{t2}^r - A_2^r}{100 - W_{t1}^r - A_1^r} - 24{,}42W_{t2}^r,\ \text{кДж/кг.} \qquad (2\text{-}10)$$

в) Классификация углей

2-08. В соответствии с существующей классификацией (ГОСТ 25543) ископаемые угли подразделяются на три вида в зависимости от основных генетических признаков (табл. 2-2). В качестве признаков рассматриваются: средний показатель отражения витринита R_o, теплота сгорания влажной беззольной массы Q_s^{af} и выход летучих веществ на сухую беззольную массу V^{daf}.

Таблица 2-2

Вид угля	Средний показатель отражения витринита R_o %	Теплота сгорания Q_s^{af}, МДж/кг	Выход летучих веществ V^{daf},%
Бурый уголь	менее 0,6	менее 24	–
Каменный уголь	от 0,4 до 2,59	24 и более	8 и более
Антрацит	от 2,20 и более	–	менее 8

В зависимости от технологических свойств бурые угли, каменные угли и антрациты объединяются в технологические марки, группы и подгруппы.

2-09. Бурые угли в зависимости от величины максимальной влагоемкости на беззольное топливо W_{max}^{af} делятся на три группы. К группе 1Б относятся бурые угли с максимальной влагоемкостью W_{max}^{af}, равной 50 % и более, к группе 2Б - угли с максимальной влагоемкостью от 30 до 50 %, к группе 3Б - угли с максимальной влагоемкостью менее 30 %.

Бурые угли характеризуются высоким (более 40 %) выходом летучих веществ на сухую беззольную массу V^{daf}, неспекшимся коксовым остатком, высокой гигроскопичностью и в большинстве случаев высокой общей влажностью, пониженным содержанием углерода и повышенным - кислорода. При сушке на воздухе бурые угли теряют механическую прочность и растрескиваются, обладают повышенной склонностью к самовозгоранию.

2-10. Каменные угли и антрациты в зависимости от выхода летучих веществ V^{daf} и толщины пластического слоя делятся на технологические марки, которые в свою очередь подразделяются на группы. Перечень и обозначение марок и групп приведены в таблице 2-3.

Таблица 2-3

Марка	Группа
Длиннопламенный, Д	–
Длиннопламенный, Д, Г	–
Газовый, Г	1Г, 2Г
Газовый жирный отощенный, ГЖО	1ГЖО, 2ГЖО
Газовый жирный, ГЖ	1ГЖ, 2ГЖ
Жирный, Ж	1Ж, 2Ж
Коксовый жирный, КЖ	-
Коксовый, К	1К, 2К
Коксовый отощенный, КО	1КО, 2КО
Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный, КСН	–
Коксовый слабоспекающийся, КС	1КС, 2КС
Отощенный спекающийся, ОС	1ОС, 2ОС
Тощий спекающийся, ТС	–
Слабоспекающийся, СС	1СС, 2СС, 3СС
Тощий, Т	1Т, 2Т
Антрацит, А	1А, 2А, 3А

2-11. При рассортировке по крупности (грохочении) ископаемые угли и сланцы разделяются на классы в соответствии с ГОСТ 19242 (таблица 2-4).

Таблица 2-4

Наименование классов	Обозначение	Размер кусков, мм
Плитный	П	100-200 (300)
Крупный	К	50-100
Орех	О	25-50
Мелкий	М	13-25
Семечко	С	6-13
Штыб	Ш	0-6
Рядовой	Р	0-200 (300)

В некоторых случаях допускается при маркировке топлива изменять в классах пределы крупности: 100 мм на 80 мм, 50 мм на 40 мм, 25 мм на 20 мм, 13 мм на 10 мм, 6 мм на 5 (8) мм, либо использовать совмещенные классы ПК, ОМ, МС, ОМСШ, МСШ, СШ. Верхний предел 300 мм распространяется только на предприятия с открытым способом добычи.

2-12. При обогащении углей мокрым и сухим способами различают следующие продукты обогащения: малозольный концентрат, высокозольный промпродукт, представляющий собой сростки угля с породой, необогащаемые отсевы мелких классов 0-6 мм, 0-13 мм, 0-25 мм и шлам крупностью 0-1 мм с повышенной зольностью, а также породу и хвосты, удаляемые в отвал.

2-13. Приведенная выше классификация не охватывает ископаемые угли, подвергшиеся окислению в природных условиях в период формирования угольных залежей. Примером окисленных углей могут служить каменные угли Кузнецкого бассейна первой и второй группы окисленности, сажистые (выветренные) бурые угли Канско-Ачинского бассейна и некоторые другие.

Окисленные угли характеризуются пониженной высшей теплотой сгорания на сухую беззольную массу Q_s^{daf} (I группа окисленности на 10 %, II группа-на 25 %), повышенной зольностью и влажностью, частичной или полной потерей спекаемости. Так, например, неокисленные угли марки ДР Кузнецкого бассейна подземной добычи имеют Q_s^{daf} =32,3 МДж/кг

и W_t^r=12 %; угли I группы окисленности ДРОКI характеризуются теплотой сгорания Q_s^{daf}=30,8 МДж/кг и W_t^r=15 %; угли II группы окисленности ДРОКII имеют Q_s^{daf}=28,5 МДж/кг и W_t^r =18 %.

г) Классификация торфа

2-14. Топливный фрезерный торф, предназначенный для пылевидного сжигания, должен удовлетворять следующим требованиям (таблица 2-5).

Таблица 2-5

Наименование показателя	Норма
Содержание общей влаги W_t^r, % , не более	52
Зольность A^d, %, не более	23
Засоренность посторонними горючими примесями (куски размером не более 25 мм), %, не более	8

д) Классификация жидких топлив

2-15. В соответствии с ГОСТ 10585 в качестве жидкого котельного топлива применяется остаточный продукт нефтепереработки - мазут двух марок: 40 и 100.

Марка топлива определяется предельной величиной вязкости при 80 °С , составляющей:

для мазута 40 - 8,0 градусов условной вязкости (°ВУ);

для мазута 100 - 16,0 градусов условной вязкости (°ВУ) .

Предельная зольность (A^d) мазутов 40 и 100 установлена:

для малозольных мазутов - 0,04 и 0,05 % соответственно;

для зольных мазутов - 0,12 и 0,14 % соответственно.

По содержанию серы мазуты разделяются на низкосернистые (массовая доля серы ≤ 0,5 %), малосернистые (≤ 1,0 %), сернистые (≤ 2,0 %) и высокосернистые (≤ 3,5 %).

В ряде случаев в качестве котельного топлива используется сырая или обессоленная и отбензиненная нефть. Эти жидкие топлива резко отличаются от мазутов по содержанию легких фракций, в связи с чем они требуют специально оборудованного топливного хозяйства.

2-Б. Газообразное топливо

2-16. Газообразное топливо представляет собой смесь горючих и негорючих газов, содержащую некоторое количество примесей в виде водяного пара и пыли (механические примеси).

2-17. Различают следующие виды газообразного топлива: природные газы, попутные газы и промышленные газы (доменный, коксовый, синтез-газ).

Физико-химические показатели природного горючего газа определяются ГОСТ 5542, согласно которому теплота сгорания низшая при 20 °С и 101,3 кПа должна быть не менее 31,8 МДж/м^3 (7600 ккал/м^3), содержание сероводорода не более 0,02 г/м^3, меркаптановой серы - не более 0,036 г/м^3.

Доменный газ перед поступлением к потребителю подвергается охлаждению и очистке от пыли в скрубберах или дезинтеграторах. Потребителю подается газ, насыщенный водой и содержащий пыль в количестве 0,1 - 1,0 г/м^3 при скрубберной очистке и 0,01 - 0,3 г/м^3 при очистке в дезинтеграторах. В неочищенном газе содержится 7-12 г/м^3 пыли. Доменный газ при выплавке ферросилиция содержит значительно большее количество пыли.

Коксовый газ, как правило, направляется потребителю после очистки от смолы, бензола, нафталина и аммиака («обратный газ»). Очищенный газ содержит следы смолы, пыли и до 4 г/м^3 бензола. Влагосодержание его соответствует насыщению при 25-35 °С. В неочищенном газе содержится до 27-32 г/м^3 бензола, следы смолы, нафталина и аммиака.

2-18. Состав газообразного топлива задается в процентах по объему, и все расчеты относятся к кубическому метру сухого газа при нормальных условиях (101,3 кПа и 0 °С).

2-19. Теплота сгорания газообразного топлива принимается по калориметрическим данным. При отсутствии таких данных теплота сгорания 1 м^3 газа при нормальных условиях подсчитывается по формуле смешения

$$Q_i^d = 0{,}01\left[Q_{H_2S}H_2S + Q_{CO}CO + Q_{H_2}H_2 + \sum Q_{C_mH_n}C_mH_n\right],\ \text{кДж/м}^3, \qquad (2\text{-}11)$$

где Q_{H_2S}, Q_{CO} и т.д. - теплота сгорания каждого газа, входящего в состав топлива, кДж/м^3;

H_2S, CO и т.д. - содержание отдельных газов в топливе в % по объему.

2-20. Теплота сгорания отдельных газов, входящих в состав газообразного топлива, приведена в таблице 2-6.

Таблица 2-6

Наименование газа	Обозначение	Плотность ρ, кг/м^3	Теплота сгорания низшая Q_i^d	
			МДж/м^3	ккал/м^3
Метан	CH_4	0,717	35,88	8 570
Этан	C_2H_6	1,355	64,36	15 370
Пропан	C_3H_8	2,009	93,18	22 260
Бутан	C_4H_{10}	2,697	123,15	29 415
Пентан	C_5H_{12}	3,454	156,63	37 410
Гексан	C_6H_{14}	3,848	173,17	41 360
Гептан	C_7H_{16}	4,474	200,55	47 900
Этилен	C_2H_4	1,251	59,06	14 107
Пропилен	C_3H_8	1,877	86,00	20 541
Бутилен	C_4H_8	2,503	113,51	27 111
Бензол	C_6H_6	3,485	140,38	33 528
Азот	N_2	1,250		
Водород	H_2	0,090	10,79	2 580
Двуокись углерода	CO_2	1,977		
Окись углерода	CO	1,250	12,64	3 020
Кислород	O_2	1,428	–	
Сероводород	H_2S	1,536	23,37	5 580

Примечание. При подсчете ρ и Q_i^d объем киломоля газа принят равным 22,41 м^3 (как для идеального газа). Значения плотности газов даны при 0 °С и 101,3 кПа.

При содержании в топливе до 3 % непредельных углеводородов неизвестного состава их принимают состоящими из этилена; для газа коксовых печей Q_i^d непредельных углеводородов неизвестного состава принимают равной 71,18 МДж/м^3.

2-В. Смеси топлив

2-21. При сжигании смеси двух твердых или жидких топлив, заданной массовыми долями (g' - доля одного из топлив), теплота сгорания 1 кг смеси

$$Q_i^r = (Q_i^r)'g' + (Q_i^r)''(1-g'), \text{ кДж/кг.} \quad (2\text{-}12)$$

2-22. Если смесь задана в долях по тепловыделению каждого топлива (q' - доля одного из топлив), то для перехода к массовым долям используется формула

$$g' = \frac{q'(Q_i^r)''}{q'(Q_i^r)'' + (1-q')(Q_i^r)'}. \quad (2\text{-}13)$$

2-23. При сжигании смеси твердого или жидкого топлива с газообразным расчет условно ведется не на 1 кг сжигаемой смеси, а на 1 кг твердого (жидкого) топлива с учетом количества газообразного топлива x, м^3, приходящегося на 1 кг твердого (жидкого) топлива. Условная теплота сгорания смеси

$$Q_i^r = (Q_i^r)' + x \cdot (Q_i^d)'', \text{ кДж/кг,} \quad (2\text{-}14)$$

где $(Q_i^r)'$, $(Q_i^d)''$ - низшая теплота сгорания твердого (жидкого) топлива, кДж/кг, и газообразного топлива, кДж/м^3.

Если смесь задана по долям тепловыделения каждого топлива (доля твердого или жидкого топлива в суммарном тепловыделении q' и доля газа $1-q'$), то количество газа, приходящегося

на 1 кг твердого (жидкого) топлива, составляет

$$x = \frac{1-q'}{q'}\frac{Q_i^r}{Q_i^d},\ м^3/кг. \qquad (2\text{-}15)$$

2-Г. Расчетные характеристики топлива

2-24. Для выбора расчетных характеристик топлива проектное задание должно содержать следующие сведения:

для антрацита, каменных и бурых углей и сланцев - месторождение, марку и класс по размерам кусков;

для отходов обогащения углей - месторождение, марку обогащенного угля и способ обогащения (сухое, мокрое);

для торфа - способ добычи (кусковой, фрезерный);

для древесного топлива - размеры кусков;

для древесных отходов - характер производства;

для мазута - марку и сернистость;

для природного газа - газопровод или район добычи, характер месторождения (чисто газовое, нефтегазовое);

для искусственного (промышленного) газообразного топлива - вид газа, исходное топливо, способы производства и очистки.

Ввиду того, что содержание примесей в газообразном топливе, а также температура и давление при поступлении к потребителю подвержены значительным колебаниям, эти величины для каждого конкретного случая должны быть специально уточнены.

Для оценки вредных выбросов в атмосферу при сжигании твердого топлива и выбора необходимого газоочистного оборудования в каждом конкретном случае необходимо дополнительно определять содержание в топливе вредных компонентов (хлора, фтора, оксидов тяжелых металлов).

2-25. В таблицах I, III и IV приведены усредненные расчетные характеристики основных видов и марок энергетических топлив. Эти данные не могут рассматриваться как постоянные и твердо установленные нормативы. Характеристики твердого топлива относятся, в основном, к рядовому необогащенному топливу, за исключением грохоченных антрацитов Донбасса.

В табл. I приведены также значения W_t^r и A^d топлива ухудшенного качества, возможность более или менее длительного поступления которого следует учитывать при проектировании отдельных котлов или предприятий.

В объем летучих веществ, приведенный в табл. I, включены водяные пары, образующиеся при разложении гидратной (кристаллизационной) воды. Горючие летучие, определяющие реакционную способность топлива, находятся по формуле

$$V_{испр}^{daf} = \frac{(V^d - W_{гидр})100}{100-(A^d + W_{гидр})},\ \%, \qquad (2\text{-}16)$$

где $W_{гидр}$ =0,1 A^d ,% ; $V^d = V^{daf}\dfrac{100-W_t^r-A^r}{100-W_t^r}$.

В качестве характеристик золы в табл. II приведены температуры плавкости t_A, t_B, t_C и параметры, определяющие свойства расплавов золы, полученные на основании исследований лабораторной золы топлив, а также температура начала шлакования:

t_o - температура начала истинно жидкого состояния, °С. Истинно жидким называется такое состояние, при котором расплав подчиняется закону течения Ньютона; t_o определяется по графикам зависимости вязкость - температура как точка расхождения кривых, полученных при нагреве и охлаждении расплава золы;

$V_A(t_o)$ - коэффициент динамической вязкости расплава при температуре начала истинно жидкого состояния, Па·с;

$t_{н.ж}$ - температура начала нормального жидкого шлакоудаления, °С, т.е. температура, до которой должен быть нагрет шлак при вытекании из летки. При значении $V_A(t_o) \le 20$ Па·с $t_{н.ж}$ принимается равной t_o. При значениях $V_A(t_o) > 20$ Па·с, что может быть у шлаков с высоким содержанием SiO_2, $t_{н.ж}$ принимается равной температуре, при которой $V_A(t_o) \le 20$ Па·с;

$\nu_A(t_{н.ж})$- коэффициент динамической вязкости расплава при температуре $t_{н.ж}$, Па·с;

$t_{шл}$ - температура начала шлакования, °С - минимальная температура частиц золы, при которой зола приобретает вязкопластические свойства, обусловливающие прилипание частиц золы при соударении их с трубами и образование вторичных отложений.

Склонность к образованию прочных первичных отложений определяется присутствием в топливе минеральных компонентов, способных при определенных условиях селективно выделяться на трубах с образованием прочного пристенного слоя, способствующего развитию шлакования.

Элементный состав золы твердых топлив обычно дается в форме оксидов. В табл. II этот состав дан в расчете на бессульфатную массу. Такая условность объясняется тем, что большая часть сульфатов, содержащихся в лабораторной золе, образуется при озолении навески топлива вследствие связывания продуктов сгорания серы с оксидами металлов. При сжигании топлива в топках сульфаты образуются в меньшем количестве.

2-26. При расчете серийных котлов характеристики топлив и золы могут приниматься по таблицам I-IV. Расчеты котлов, предназначенных для конкретных объектов, выполняются с учетом заданных характеристик топлива.

2-27. При использовании топлива, о котором нет данных в таблицах I-IV, его расчетные характеристики устанавливаются на основании специальных исследований или анализов представительных проб, отобранных по соответствующим инструкциям и методикам специализированных организаций.

К анализам должны предъявляться следующие минимальные требования:

- теплота сгорания определяется по калориметру;

- пределы колебаний теплоты сгорания сухого беззольного топлива Q_s^{daf} или Q_i^{daf} разных партий или за различное время не должны превышать 630-840 кДж/кг;

- расхождение теплоты сгорания сухой беззольной массы, вычисленной по формуле Менделеева

$$Q_i^{daf} = 340C^{daf} + 1030H^{daf} - 109(O-S)^{daf}, \text{ кДж/кг}, \qquad (2\text{-}17)$$

с калориметрическим определением не должно превышать 630 кДж/кг для топлива зольностью ≤ 25 % и 840 кДж/кг для топлива зольностью более 25 %. Эти расхождения при $A^d \leq 25$ % могут быть как отрицательными, так и положительными, а при $A^d > 25$ % результаты расчета по формуле Менделеева должны быть выше, чем по калориметру. В случае расхождений, превышающих указанные выше пределы, результаты анализов должны быть забракованы и отобраны новые пробы для повторного исследования.

Для сравнения различных анализов (или проб) все данные по зольности и содержанию серы S_t, S_p, S_{SO_4} пересчитываются на сухую массу, а по элементному составу, теплоте сгорания и выходу летучих веществ - на сухую беззольную массу. В результате такого сравнения определяются расчетные характеристики топлива.

Содержание влаги рабочей W_t^r принимается в основном по товарным или керновым пробам при условии, что их начальная влажность сохранена при подготовке проб и доставке их в лабораторию.

2-28. Для расчета котла на топливе, характеристики которого приведены в таблице I, но заданные зольность и влажность отличаются от усредненных данных, расчетные характеристики топлива определяются согласно п.п. 2-06 и 2-07 (если только заданная величина зольности A^d не превышает предельной величины A^d, указанной в табл. I).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧИХ ТЕЛ

3-01. В качестве расчетных физических параметров рабочих тел используются:

- теплоемкость c, кДж/(м^3·К);
- коэффициент кинематической вязкости ν, м^2/с;
- коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·К);
- критерий физических свойств Pr.

3-02. При определении плотности газов объем киломоля принимается равным 22,41 м^3 как для идеального газа при 0 °С и абсолютном давлении 101,3 кПа.

Значения средних теплоемкостей воздуха и газов, входящих в продукты сгорания, при температурах от 0 до 2300 °С приведены в табл. V.

Средняя теплоемкость влажного воздуха $c_в$ вычислена при влагосодержании 10 г на 1 кг сухого воздуха и отнесена к 1 м^3 сухого воздуха. При влагосодержании d, г/кг, теплоемкость воздуха

$$c_в = c_{с.в} + 0{,}0016 d c_{H_2O}, \text{ кДж/(м}^3\text{·К)}, \qquad (3\text{-}01)$$

где $c_{с.в}$, c_{H_2O} - теплоемкости сухого воздуха и водяного пара; принимаются по табл. V.

3-03. Коэффициенты кинематической вязкости воздуха и дымовых газов среднего состава при давлении 101,3 кПа и температурах от 0 до 2200 °С представлены в табл. VI.

Состав дымовых газов характеризуется объемными долями водяных паров и углекислого газа r_{H_2O} и r_{CO_2}, равными парциальным давлениям этих газов при давлении 101,3 кПа; среднему составу газов соответствует r_{H_2O}=0,11 и r_{CO_2}=0,13.

Отклонение ν дымовых газов заданного состава от $\nu_г$ среднего состава обусловлено главным образом различным содержанием водяных паров.

На рис. 3.1 приводится множитель $M_\nu = \nu / \nu_г$, определяемый в зависимости от r_{H_2O} и температуры газов. Коэффициент кинематической вязкости дымовых газов заданного состава

$$\nu = M_\nu \nu_г, \text{ м}^2\text{/с}. \qquad (3\text{-}02)$$

3-04. Коэффициенты теплопроводности воздуха и дымовых газов среднего состава (r_{H_2O}=0,11 и r_{CO_2}=0,13) при давлении 101,3 кПа и температурах от 0 до 2200 °С представлены в табл. VI.

Отклонение коэффициентов теплопроводности продуктов полного сгорания, имеющих состав, отличный от среднего, зависит главным образом от содержания водяных паров. На рис. 3.1 приведен множитель $M_\lambda = \lambda / \lambda_г$, определяемый в зависимости от r_{H_2O} и температуры газов. Коэффициент теплопроводности дымовых газов заданного состава

$$\lambda = M_\lambda \lambda_г, \text{ Вт/(м·К)}. \qquad (3\text{-}03)$$

3-05. Критерий физических свойств

$$\mathrm{Pr} = 1000\, \nu c_p \rho / \lambda, \qquad (3\text{-}04)$$

где c_p - истинная теплоемкость, кДж/(кг·К);

ρ - плотность, кг/м^3.

3-06. Значения критерия Pr для воздуха и дымовых газов среднего состава (r_{H_2O}=0,11 и r_{CO_2}=0,13) при давлении 101,3 кПа и температурах от 0 до 2200 °С даны в табл. VI.

На рис.3.1. показан график зависимости множителя $M_{Pr} = \mathrm{Pr} / \mathrm{Pr}_г$ от объемной доли водяных паров r_{H_2O}. Для дымовых газов, состав которых отличается от среднего, критерий Pr определяется по формуле

$$\mathrm{Pr} = M_{Pr}\, \mathrm{Pr}_г. \qquad (3\text{-}05)$$

3-07. Коэффициент кинематической вязкости для пара и воды

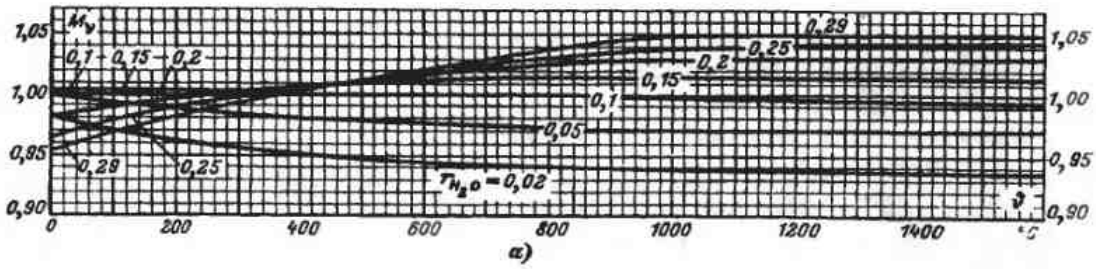
$$\nu = \mu\upsilon, \ м^2/с, \qquad (3\text{-}06)$$

где μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с. Коэффициенты динамической вязкости для воды и водяного пара при давлении от 0,1 до 40 МПа и температурах от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения приведены в табл. VII;

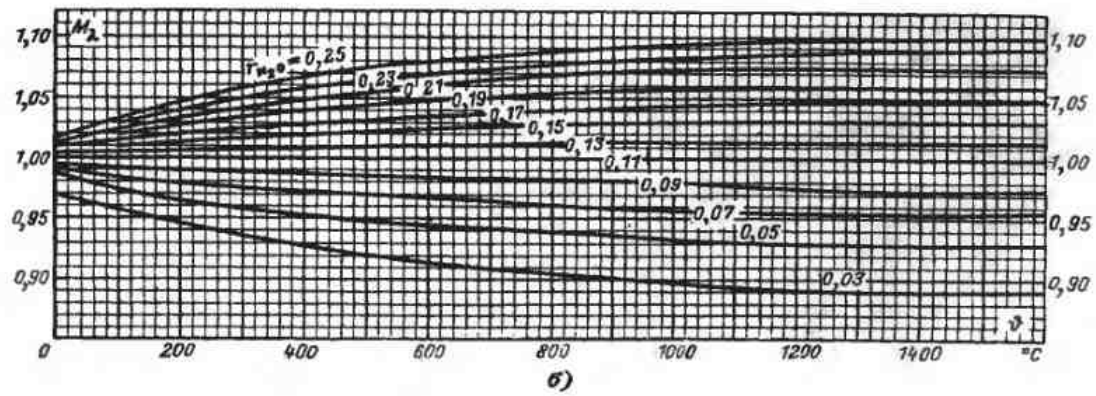
υ - удельный объем, $м^3/кг$. Принимается по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара (табл. XXIII-XXVI).

3-08. Коэффициенты теплопроводности воды и водяного пара для давлений от 0,1 до 40 МПа и температур от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения представлены в табл. VIII.

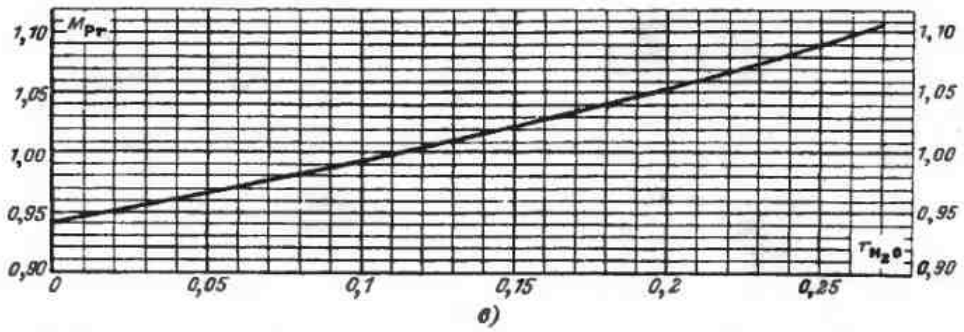
3-09. Значения критерия Pr для воды и водяного пара для давлений от 0,1 до 40 МПа и температурах от 0 до 700 °С, а также на линии насыщения приведены в табл. IX.



а)



б)



в)

Рис. 3.1. Поправки для пересчета физических характеристик дымовых газов среднего состава на заданный. *а* - M_ν; *б* - M_λ; *в* - M_{Pr}.

3-10. Для котлов, работающих с наддувом, при давлении, превышающим 105 кПа, коэффициент кинематической вязкости газов

$$\nu_p = \nu \frac{98{,}1}{p},\ м^2/с, \qquad (3\text{-}07)$$

где p - давление дымовых газов в котле, кПа.

Теплоемкость, коэффициент теплопроводности и критерий Pr для этих же условий принимаются не зависящими от давления в газоходах котла.

3-11. Удельные объемы и энтальпии воды и водяного пара даны в табл. XXIII-XXVII.

3-12. Коэффициенты кинематической вязкости и теплопроводности, а также величины критерия Pr для газообразных топлив указаны в табл. X. Они могут быть использованы для определения характеристик других, близких по составу смесей газов.

3-13. Теплоемкость рабочей массы твердого топлива

$$c^r_{тл} = 4{,}19\frac{W^r_t}{100} + c^d_{тл}\frac{100 - W^r_t}{100},\ кДж/(кг\cdot К). \qquad (3\text{-}08)$$

Теплоемкость сухой массы топлива $c^d_{тл}$, кДж/(кг·К), принимается по табл. 3-1.

Таблица 3-1

Топливо	Температура, °С				
	0	100	200	300	400
Антрацит и тощий уголь	0,92	0,96	1,05	1,13	1,17
Каменный уголь	0,96	1,09	1,26	1,42	–
Бурый уголь	1,09	1,26	1,47	–	–
Сланцы	1,05	1,13	1,30	–	–
Фрезерный торф	1,30	1,51	1,80	–	–

3-14. Теплоемкость мазута при температуре t определяется

при t< 100 °С $\quad c_{тл} = 1{,}89 + 0{,}0053t$, кДж/(кг·К);

при t=100-150 °С $\quad c_{тл} = 1{,}30 + 0{,}0112t$, кДж/(кг·К). (3-09)

3-15. Теплоемкость газообразного топлива, отнесенная к 1 м³ сухого газа

$$c_{г.тл} = 0{,}01(c_{H_2}H_2 + c_{CO}CO + c_{CH_4}CH_4 + c_{CO_2}CO_2 + \ldots) + 0{,}00124c_{H_2O}d_{г.тл},\ кДж/(м^3\cdot К), \qquad (3\text{-}10)$$

где $d_{г.тл}$ - влагосодержание газообразного топлива, г/м³.

Теплоемкости негорючих составляющих топлива приведены в табл. V, горючих - в табл. XI.

3-16. Средняя теплоемкость золы твердых топлив $c_{зл}$, кДж/(кг·К), от 0 до t, °С, дана в табл. 3.2.

Таблица 3-2

t, °С	$c_{зл}$	t, °С	$c_{зл}$	t, °С	$c_{зл}$
100	0,808	800	0,959	1500	1,172
200	0,846	900	0,971	1600	1,172
300	0,879	1000	0,984	1700	1,214
400	0,900	1100	0,996	1800	1,214
500	0,917	1200	1,005	1900	1,256
600	0,934	1300	1,047	2000	1,256
700	0,946	1400	1,130		

Примечание. Значения $c_{зл}$ при высоких температурах даны с учетом теплоты перехода из твердого в жидкое состояние; при t> 1600 °С они определены приближенно, экстраполяцией опытных данных.

3-17. Физические свойства мазутов приведены в табл. 3.3. Зависимость коэффициентов вязкости мазутов от температуры показана на рис. 3.2.

Таблица 3-3

Физические свойства	Марка мазута	
	40	100
Вязкость при 80 °С, °ВУ	≤8	≤16
Плотность при 20 °С, кг/м^3	≤1000	≤980
Температура вспышки в открытом тигле, °С	≥90	≥110
Температура застывания обычного мазута, °С	10	25
Температура застывания высокопарафинистого мазута, °С	25	42

Коэффициент теплопроводности мазутов марок 40 и 100			
t, °С	λ, Вт/(м·К)	t, °С	λ, Вт/(м·К)
40	0,140	90	0,127
50	0,138	100	0,125
60	0,135	110	0,122
70	0,133	120	0,119
80	0,130	130	0,117

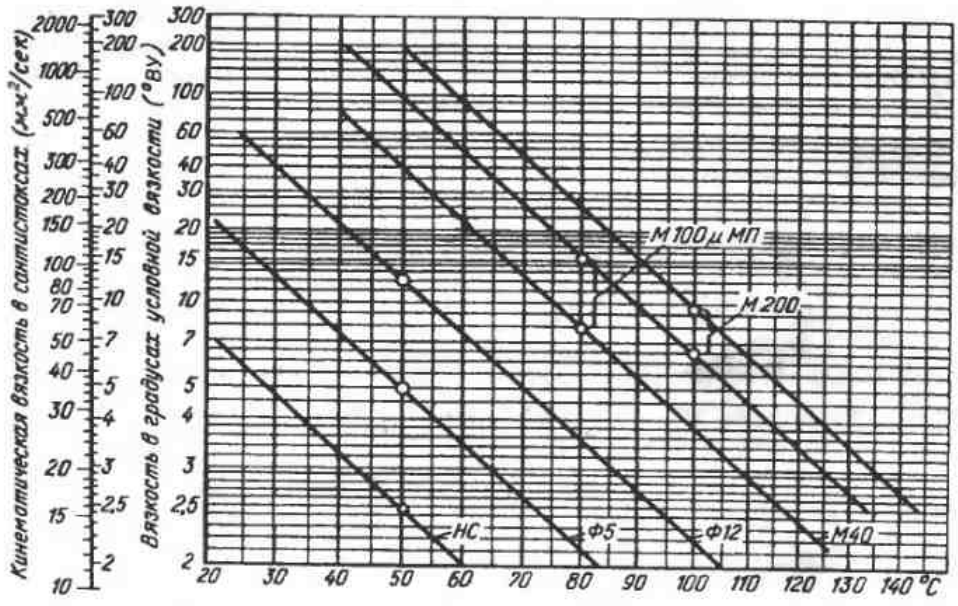


Рис. 3.2. Зависимость коэффициентов вязкости мазутов от температуры.
Ф5 и Ф12 - мазуты флотские; 40, 100, 200 - топочные мазуты; МП - топливо для мартеновских печей; НС - стабилизированная нефть.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

4-А. Расчет объемов и энтальпий

4-01. Объемы и энтальпии воздуха и продуктов сгорания рассчитываются на 1 кг твердого и жидкого или на 1 м^3 сухого газообразного топлива при нормальных условиях (0 °С и 101,3 кПа), на что указывает верхний индекс «н» в обозначениях величин объемов. При разомкнутой схеме пылеприготовления расчеты ведутся на 1 кг подсушенного топлива.

Все формулы даны применительно к случаю отсутствия химической неполноты сгорания топлива q_3, но с достаточной для расчетов точностью могут использоваться и при незначительной химической неполноте горения, соответствующей указанным в главе 5 значениям.

Потеря тепла от механической неполноты сгорания q_4 учитывается введением расчетного расхода топлива

$$B_р = B\frac{100 - q_4}{100}, \text{ кг/с,} \qquad (4\text{-}01)$$

где B - полный расход топлива на котел, кг/с.

Состав твердого и жидкого топлив в формулах выражен в процентах по массе, а газообразного - по объему.

При вычислении энтальпии газов ошибка от разницы объемов молей реального и идеального газов не вносится, так как теплоемкости газов отнесены к тому же объему моля (п. 3-02).

4-02. Объемы и массу воздуха и продуктов сгорания при сжигании твердых и жидких топлив в атмосферном воздухе определяют по приведенным ниже формулам.

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания топлива (коэффициент избытка воздуха α=1):

$$V_0^н = 0{,}0889(C^r + 0{,}375S^r_{р+0}) + 0{,}265H^r - 0{,}0333O^r, \text{ м}^3\text{/кг;} \qquad (4\text{-}02)$$

$$L_0^н = 0{,}115(C^r + 0{,}375S^r_{р+0}) + 0{,}342H^r - 0{,}0431O^r, \text{ кг/кг.} \qquad (4\text{-}03)$$

Теоретические (минимальные) объемы продуктов сгорания, полученные при полном сгорании топлива с теоретически необходимым количеством воздуха (α=1):

азота

$$V^н_{0.N_2} = 0{,}79V_0^н + 0{,}8\frac{N^r}{100}, \text{ м}^3\text{/кг;} \qquad (4\text{-}04)$$

трехатомных газов

$$V^н_{RO_2} = 1{,}866\frac{C^r + 0{,}375S^r_{р+0}}{100}, \text{ м}^3\text{/кг;} \qquad (4\text{-}05)$$

водяных паров

$$V^н_{0.H_2O} = 0{,}111H^r + 0{,}0124W^r_t + 0{,}0161V_0^н, \text{ м}^3\text{/кг.} \qquad (4\text{-}06)$$

При наличии парового дутья или парового распыливания мазута с расходом пара $G_ф$, кг/кг, к величине $V^н_{0.H_2O}$ добавляется величина $1{,}24G_ф$.

При избытке воздуха α>1 расчет ведется по следующим формулам:

объем водяных паров

$$V^н_{H_2O} = V^н_{0.H_2O} + 0{,}0161(\alpha - 1)V_0^н, \text{ м}^3\text{/кг;} \qquad (4\text{-}07)$$

объем дымовых газов

$$V_г^н = V^н_{RO_2} + V^н_{0.N_2} + V^н_{H_2O} + (\alpha - 1)V_0^н, \text{ м}^3\text{/кг;} \qquad (4\text{-}08)$$

объемные доли трехатомных газов

$$r_{RO_2} = \frac{V^н_{RO_2}}{V^н_г}; \quad (4\text{-}09)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V^н_{H_2O}}{V^н_г}, \quad (4\text{-}10)$$

концентрация золы в продуктах сгорания

$$\mu_{зл} = \frac{A^г a_{ун}}{100 G_г}, \text{ кг/кг}, \quad (4\text{-}11)$$

где $a_{ун}$ - доля золы топлива, уносимой газами; определяется по табл. XVIII, XIX, XXI;
масса продуктов сгорания

$$G_г = 1 - \frac{A^г}{100} + 1{,}306\alpha V^н_0, \text{ кг/кг}. \quad (4\text{-}12)$$

При наличии парового дутья или парового распыливания мазута к величине $G_г$ добавляется расход пара $G_ф$.

Особенности расчета при сжигании сланцев указаны в п. 4-11.

4-03. Объемы и массу воздуха и продуктов сгорания при сжигании 1 м³ сухого газообразного топлива в атмосферном воздухе определяют по следующим формулам:
теоретическое количество воздуха

$$V^н_0 = 0{,}0476\left[0{,}5CO + 0{,}5H_2 + 1{,}5H_2S + \sum\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n - O_2\right], \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4\text{-}13)$$

здесь и далее при содержании в топливе до 3 % непредельных углеводородов неизвестного состава их принимают состоящими из C_2H_4;
теоретический объем азота

$$V^н_{0.N_2} = 0{,}79V^н_0 + 0{,}01 \cdot N_2, \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (4\text{-}14)$$

объем трехатомных газов

$$V^н_{RO_2} = 0{,}01\left(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n\right), \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad (4\text{-}15)$$

теоретический объем водяных паров

$$V^н_{0.H_2O} = 0{,}01\left(H_2S + H_2 + \sum\frac{n}{2}C_mH_n + 0{,}124d_{г.тл}\right) + 0{,}0161V^н_0, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4\text{-}16)$$

где $d_{г.тл}$ - влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1м³ сухого газа, г/м³.

Объемы и объемные доли газов при $\alpha>1$ рассчитываются по (4-07)-(4-10).

Плотность сухого газа при нормальных условиях

$$\rho^с_{г.тл} = 0{,}01\left[1{,}96CO_2 + 1{,}52H_2S + 1{,}25N_2 + 1{,}43O_2 + 1{,}25CO + 0{,}0899H_2 + \sum(0{,}536m + 0{,}045n)C_mH_n\right], \text{ кг/м}^3 \quad (4\text{-}17)$$

Масса дымовых газов

$$G_г = \rho^с_{г.тл} + \frac{d_{г.тл}}{1000} + 1{,}306\alpha V^н_0, \text{ кг/м}^3. \quad (4\text{-}18)$$

4-04. Объем водяных паров (4-06), (4-07), (4-16) и массу дымовых газов (4-12), (4-18) при влагосодержании воздуха d, отличающемся от 10 г/кг, следует изменить на величину

$$\Delta V^н_{0.H_2O} = 0{,}0016V^н_0(d - 10), \text{ м}^3/\text{кг } (\text{м}^3/\text{м}^3), \quad (4\text{-}19а)$$

$$\Delta V^н_{H_2O} = 0{,}0016(\alpha - 1)V^н_0(d - 10), \text{ м}^3/\text{кг } (\text{м}^3/\text{м}^3), \quad (4\text{-}19б)$$

$$\Delta G_г = 0{,}0013\alpha V^н_0(d - 10), \text{ кг/кг } (\text{кг/м}^3). \quad (4\text{-}20)$$

4-05. Особенности расчета объемов при рециркуляции газов в котле указаны в п. 4-10.

4-06. Энтальпия дымовых газов на 1 кг или на 1 м³ топлива

$$I = I_{0.г} + (\alpha - 1)I_{0.в}, \text{ кДж/кг } (\text{кДж/м}^3). \quad (4\text{-}21)$$

Энтальпия газов при коэффициенте избытка воздуха α=1 и температуре ϑ, °С

$$I_{0.г} = V^{н}_{RO_2}(c\vartheta)_{CO_2} + V^{н}_{0.N_2}(c\vartheta)_{N_2} + V^{н}_{0.H_2O}(c\vartheta)_{H_2O},\ \text{кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}. \qquad (4\text{-}22)$$

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при температуре ϑ, °С

$$I_{0.в} = V^{н}_{0}(c\vartheta)_{в},\ \text{кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}. \qquad (4\text{-}23)$$

Теоретические объемы сухого воздуха $V^{н}_{0}$ и газов $V^{н}_{RO_2}, V^{н}_{0.N_2}, V^{н}_{0.H_2O}$ вычисляются по п. 4-02 для твердого (жидкого) и п. 4-03 - для газообразного топлива.

Энтальпии 1 м^3 влажного воздуха $(c\vartheta)_{в}$, углекислого газа $(c\vartheta)_{CO_2}$, азота $(c\vartheta)_{N_2}$ и водяных паров $(c\vartheta)_{H_2O}$ определяются по табл. XIV.

4-07. К энтальпии дымовых газов добавляется энтальпия золы

$$I_{зл} = (c\vartheta)_{зл}\frac{A^{г}}{100}a_{ун},\ \text{кДж/кг}, \qquad (4\text{-}24)$$

где $(c\vartheta)_{зл}$ - энтальпия 1 кг золы, кДж/кг; определяется по табл. XIV.

При наличии встроенных золоуловителей следует учитывать уменьшение содержания золы в дымовых газах для расположенных за золоуловителем поверхностей нагрева.

4-08. Для топлив, характеристики которых приведены в табл. I-IV, объемы и энтальпии воздуха и дымовых газов (без учета энтальпии золы) при α=1 и влагосодержании воздуха 10 г/кг представлены в табл. XII, XIII, XV и XVI.

4-09. Расчет объемов и энтальпий рекомендуется вести согласно табл. 4-1 и 4-2.

Таблица 4-1

Объемы газов, объемные доли трехатомных газов, концентрация золы

Величина	Размерность	$V^{н}_{0} =$; $V^{н}_{0.N_2} =$; $V^{н}_{RO_2} =$; $V^{н}_{0.H_2O} =$; $A^{г} =$ Газоходы				
Среднее значение коэффициента α в газоходе						
$V^{н}_{H_2O} = V^{н}_{0.H_2O} + 0{,}0161(\alpha - 1)V^{н}_{0}$	м^3/кг (м^3/м^3)					
$V^{н}_{г} = V^{н}_{RO_2} + V^{н}_{0.N_2} + V^{н}_{H_2O} + (\alpha - 1)V^{н}_{0}$	м^3/кг (м^3/м^3)					
$r_{RO_2} = \frac{V^{н}_{RO_2}}{V^{н}_{г}}$	–					
$r_{H_2O} = \frac{V^{н}_{H_2O}}{V^{н}_{г}}$	–					
$r_{п} = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	–					
$\mu_{зл} = \frac{A^{г}a_{ун}}{100G_{г}}$	кг/кг					

При составлении I-ϑ - таблицы для каждого α определяются значения I в области, перекрывающей ожидаемый диапазон температур в газоходе, и ΔI - приращение энтальпии для заданного интервала температур.

Таблица 4-2

Энтальпия продуктов сгорания (I-ϑ - таблица)

ϑ	$I_{0.г}$	$I_{0.в}$	$I_{зл}=(c\vartheta)_{зл}a_{ун}\frac{A^r}{100}$	$I=I_{0.г}+(\alpha-1)I_{0.в}+I_{зл}$ кДж/кг (кДж/м³)					
°С	кДж/кг (кДж/м³)	кДж/кг (кДж/м³)	кДж/кг	α_1		...		$\alpha_{ух}$	
				I	ΔI	...	...	I	ΔI

4-10. Рециркуляция газов в расчетах объемов и энтальпий продуктов сгорания учитывается на всех участках тракта от места ввода рециркулирующих газов в котел до места их отбора.

Коэффициент рециркуляции

$$r=\frac{V^н_{рц}}{V^н_{г.отб}}, \qquad (4\text{-}25)$$

где $V^н_{рц}$, $V^н_{г.отб}$ - объемы газов, отбираемых на рециркуляцию, и в сечении газохода за местом отбора, м³/кг (м³/м³).

Объем газов в промежуточной точке тракта от места возврата до места отбора

$$V^н_{г.рц}=V^н_г+rV^н_{г.отб}, \text{ м³/кг (м³/м³)}, \qquad (4\text{-}26)$$

где $V^н_г$ - объем газов в данном сечении тракта без учета рециркуляции, м³/кг (м³/м³).

Масса продуктов сгорания при сжигании 1 кг твердого (жидкого) топлива

$$G_{г.рц}=(1-A^r/100)(1+r)+1{,}306(\alpha+\alpha_{отб}r)V^н_0, \text{ кг/кг}. \qquad (4\text{-}27а)$$

То же при сжигании 1 м³ газа

$$G_{г.рц}=(\rho^c_{г.тл}+d_{г.тл}/1000)(1+r)+1{,}306(\alpha+\alpha_{отб}r)V^н_0, \text{ кг/м}^3, \qquad (4\text{-}27б)$$

где $\alpha_{отб}$ - коэффициент избытка воздуха в месте отбора газов на рециркуляцию.

Энтальпия газов в месте возврата рециркулирующих газов после смешения

$$I_{г.рц}=I_г+rI_{г.отб}, \text{ кДж/кг (кДж/м³)}. \qquad (4\text{-}28а)$$

Температура газов после смешения

$$\vartheta_{г.рц}=\frac{I_{г.рц}}{(Vc)_{г.рц}}, \text{ °С}, \qquad (4\text{-}28б)$$

где $(Vc)_{г.рц}$ - суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива после смешения

$$(Vc)_{г.рц}=(Vc)_г+r(Vc)_{г.отб}, \text{ кДж/(кг·К) [кДж/(м³·К)]}. \qquad (4\text{-}29)$$

В формулах (4-28) и (4-29)

$I_г$, $(Vc)_г$ - энтальпия и суммарная теплоемкость газов перед смешением;

$I_{г.отб}$, $(Vc)_{г.отб}$ - то же для газов за местом отбора.

На последующих участках тракта до места отбора температура газов вычисляется с использованием суммарной теплоемкости, определяемой по (4-29), где $(Vc)_г$ и $(Vc)_{г.отб}$ принимаются по температуре в рассчитываемом сечении газохода.

При отборе газов из нижней части топки для сушки топлива и возврате их в нее объемы и энтальпии рассчитываются без учета рециркуляции.

4-11. При сжигании сланцев объемы и масса продуктов сгорания вычисляются с поправками на разложение карбонатов.В табл.I приведены зольность сланцев на рабочую массу A^r и диоксид углерода карбонатов $(CO_2)^r_{крб}$.

При сгорании сланцев карбонаты частично или полностью разлагаются и выделяют диоксид углерода. Массовая доля выделившегося диоксида углерода, называемая коэффициентом разложения карбонатов $к$, равна при слоевом сжигании 0,7; при камерном - 1,0.

Содержание золы в топливе с учетом неразложившихся карбонатов приближенно равно

$$A^{r}_{крб} = A^{r} + (1-\kappa)(CO_2)^{r}_{крб},\ \%. \qquad (4\text{-}30)$$

Объем углекислого газа при нормальных условиях

$$V^{н}_{RO_2.крб} = V^{н}_{RO_2} + \frac{0{,}509(CO_2)^{r}_{крб}\kappa}{100},\ м^3/кг. \qquad (4\text{-}31)$$

Объем газов

$$V^{н}_{г.крб} = V^{н}_{г} + \frac{0{,}509(CO_2)^{r}_{крб}\kappa}{100},\ м^3/кг. \qquad (4\text{-}32)$$

Масса газов

$$G_{г.\ крб} = 1 - \frac{A^{r}_{крб}}{100} + 1{,}306\alpha V^{н}_{0},\ кг/кг. \qquad (4\text{-}33)$$

Объемные доли трехатомных газов

$$r_{RO_2.крб} = \frac{V^{н}_{RO_2.крб}}{V^{н}_{г.\ крб}}; \qquad r_{H_2O.крб} = \frac{V^{н}_{H_2O}}{V^{н}_{г.\ крб}}.$$

4-12. При сжигании смеси топлив объемы и энтальпии продуктов сгорания рекомендуется рассчитывать для каждого топлива отдельно, на 1 кг твердого или жидкого топлива и на 1 $м^3$ сухого газа.

По полученным для каждого топлива значениям объемов воздуха $V^{н}_{0}$ и продуктов сгорания $V^{н}_{RO_2}, V^{н}_{0.N_2}, V^{н}_{0.H_2O}$ определяются объемы воздуха и продуктов сгорания смеси:

а) для смеси двух однородных топлив (твердых, жидких или газообразных) - по формуле смешения

$$V^{н}_{0} = g'(V^{н}_{0})' + (1-g')(V^{н}_{0})'',\ м^3/кг\ (м^3/м^3), \qquad (4\text{-}34)$$

где g'-массовая (объемная-для газообразных топлив) доля первого топлива в смеси, кг/кг ($м^3/м^3$). Аналогично определяются $V^{н}_{RO_2}, V^{н}_{0.N_2}, V^{н}_{0.H_2O}$ смеси;

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$V^{н}_{0} = (V^{н}_{0})' + x(V^{н}_{0})'',\ м^3/кг, \qquad (4\text{-}35)$$

где x - количество газообразного топлива на 1 кг твердого (жидкого) топлива, $м^3$.

Соответственно дальнейший расчет ведется на 1 кг твердого (жидкого) топлива.

Энтальпия продуктов сгорания смеси топлив вычисляется по следующим формулам:

а) для смеси двух однородных топлив

$$I_{RO_2} = \left[g'(V^{н}_{RO_2})' + (1-g')(V^{н}_{RO_2})''\right](c\vartheta)_{CO_2},\ кДж/кг\ (кДж/м^3); \qquad (4\text{-}36)$$

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$I_{RO_2} = \left[(V^{н}_{RO_2})' + x(V^{н}_{RO_2})''\right](c\vartheta)_{CO_2},\ кДж/кг. \qquad (4\text{-}37)$$

Объемная доля трехатомных газов продуктов сгорания смеси топлив:

а) для смеси двух однородных топлив

$$r_{RO_2} = \frac{g'(V^{н}_{RO_2})' + (1-g')(V^{н}_{RO_2})''}{V^{н}_{г}}, \qquad (4\text{-}38)$$

аналогично определяется r_{H_2O};

б)для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$r_{RO_2} = \frac{(V^{н}_{RO_2})' + x(V^{н}_{RO_2})''}{V^{н}_{г}}, \qquad (4\text{-}39)$$

и соответственно определяется r_{H_2O}.

Масса продуктов сгорания смеси топлив находится по формулам:

а) для смеси двух однородных топлив

$$G_{см} = g'G' + (1 - g')G'' \text{, кг/кг (кг/м}^3\text{);} \quad (4\text{-}40)$$

б) для смеси твердого или жидкого топлива с газообразным

$$G_{см} = G' + xG'' \text{, кг/кг.} \quad (4\text{-}41)$$

Если смесь топлива задана не в массовых или объемных долях, а в долях тепловыделения каждого топлива q' и $(1 - q')$, соответствующие массовые или объемные доли их определяются по (2-13) и (2-15).

4-Б. Коэффициент избытка воздуха и присосы в котле

4-13. Коэффициент избытка воздуха в топке, соответствующий составу газов в конце топки, принимается в зависимости от типа топочного устройства и рода сжигаемого топлива по данным табл. XVIII-XXI.

Коэффициенты избытка воздуха $\alpha_т$ заданы, исходя из величин потерь от механического недожога, приведенных в табл. XVIII-XXI.

При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом коэффициент избытка воздуха принимается, как для твердого топлива.

4-14. Величина коэффициента избытка воздуха в сечении газового тракта котла с уравновешенной тягой определяется суммированием коэффициента избытка воздуха в топке с присосами в газоходах, расположенных между топкой и рассматриваемым сечением.

Для котлов, работающих под наддувом, коэффициент избытка воздуха на участке тракта от топки до воздухоподогревателя принимается постоянным.

Расчетные величины присосов в топке и газоходах котла, в том числе присосы воздуха в газовую сторону воздухоподогревателя, равные перетечке из воздушной стороны, при номинальной нагрузке принимаются по таблице XVII.

Расчетная величина присоса воздуха в газоходах котла при пониженной нагрузке

$$\Delta\alpha_D = \Delta\alpha \left(D_н / D\right)^{0.5}. \quad (4\text{-}42а)$$

Присос воздуха в топку при пониженной нагрузке

$$\Delta\alpha_{т.D} = \Delta\alpha_т \left(D_н / D\right), \quad (4\text{-}42б)$$

где $D_н$, D - значения номинальной и пониженной нагрузок;

$\Delta\alpha$, $\Delta\alpha_т$ - присосы при номинальной нагрузке.

4-15. Количество воздуха, подаваемое в топку из воздухоподогревателя, отнесенное к теоретически необходимому для сгорания топлива

$$\beta'_т = \alpha_т - \Delta\alpha_т - \Delta\alpha_{пл} - (\alpha_{отб} - 1)r_т, \quad (4\text{-}43)$$

где $\Delta\alpha_{пл}$ - присос в системе пылеприготовления с учетом возможных нарушений плотности во время эксплуатации; определяется по таблице XVII. Присос в разомкнутых пылесистемах не учитывается;

$\alpha_{отб}$ - коэффициент избытка воздуха в месте отбора газов на рециркуляцию;

$r_т$ - коэффициент рециркуляции газов в низ топки или горелки.

4-16. Значения коэффициента избытка воздуха в топке $\alpha_т$, приведенные в таблицах XVIII - XXI, принимаются при производительности котла:

100-70 % - при сжигании твердого топлива;

100-50 % - при сжигании мазута и газа.

При работе котла на твердом топливе и производительности от 70 до 50 %

$$\alpha_{т.D} = \alpha_т + (0{,}7 - D / D_н). \quad (4\text{-}44а)$$

При работе котла на газе и мазуте и производительности от 50 до 30 %

$$\alpha_{т.D} = \alpha_т + 0{,}5(0{,}5 - D / D_н). \quad (4\text{-}44б)$$

В тех топочных устройствах, где расход основного количества воздуха определяется не только горением, но и транспортом топлива (например, в шахтно-мельничных, низкотемпературных, вихревых и т.п.), избыток воздуха в топке при пониженной производительности следует выбирать с учетом транспорта. При растопке котлов на мазуте или газе следует принимать $\alpha_т$ повышенным (до 3,0).

ГЛАВА ПЯТАЯ

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

5-01. Составление теплового баланса котла заключается в установлении равенства между поступившим в котел количеством тепла, называемым располагаемым теплом $Q_р$, и суммой полезно использованного тепла Q_1 и тепловых потерь Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 и Q_6. На основании теплового баланса вычисляются КПД и необходимый расход топлива.

Тепловой баланс составляется применительно к установившемуся тепловому состоянию котла на 1 кг твердого (жидкого) или 1 м^3 газообразного топлива при 0 °С и 101,3 кПа.

Общее уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_р + Q_{в.вн} + Q_ф = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}. \quad (5\text{-}01)$$

5-02. Располагаемое тепло 1 кг твердого (жидкого) или 1 м^3 газообразного топлива определяется соответственно по формулам:

$$Q_р = Q_i^r + i_{тл} + (1-\kappa)Q_{крб}, \text{ кДж/кг;} \quad (5\text{-}02а)$$

$$Q_р = Q_i^d + i_{тл}, \text{ кДж/м}^3, \quad (5\text{-}02б)$$

где Q_i^r, Q_i^d - низшая теплота сгорания рабочей массы твердого (жидкого) и сухой массы газообразного топлив, кДж/кг и кДж/м^3.

Расчет $Q_р$ котлов, температура уходящих газов которых ниже температуры точки росы, следует вести по высшей теплоте сгорания Q_s^r для учета частичного использования теплоты парообразования водяных паров. С учетом того, что при глубоком охлаждении уходящих газов влияние используемой доли теплоты парообразования на величину $Q_р$ относительно невелико, и в этом случае $Q_р$ можно рассчитывать по низшей теплоте сгорания, а в (5-02) ввести дополнительное слагаемое

$$\Delta Q_{конд} = \Delta G_{конд} r, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)},$$

где $\Delta G_{конд}$ - масса конденсирующихся водяных паров, кг/кг или кг/м^3;

r - теплота парообразования при температуре газов, кДж/кг.

5-03. Физическое тепло топлива

$$i_{тл} = c_{тл} t_{тл}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \quad (5\text{-}03)$$

где $c_{тл}$ - теплоемкость рабочего топлива; определяется по п.п. 3-13 – 3-15;

$t_{тл}$ - температура рабочего топлива, °С. Учитывается в тех случаях, когда топливо предварительно подогрето посторонним источником тепла (паровой подогрев мазута, паровые сушилки и т.п.), а также при сушке по разомкнутому циклу. В последнем случае температуру и влажность топлива следует принимать по состоянию перед топкой.

При отсутствии постороннего подогрева физическое тепло может учитываться только для бурых углей и торфа. При этом температура топлива принимается 20 °С.

При замкнутой схеме пылеприготовления тепло подогрева и подсушки топлива в мельничной системе в балансе не учитывается.

В тех случаях, когда в котел подается смерзшееся топливо (что должно быть специально оговорено в задании), из величины располагаемого тепла вычитается тепло, затрачиваемое на размораживание

$$\Delta Q_{тл} = 3{,}35\left(W_t^r - W_t^б \frac{100 - W_t^r}{100 - W_t^б}\right), \text{ кДж/кг}, \quad (5\text{-}04)$$

где $W_t^б$ - безопасная (связанная) влажность, соответствующая равновесной влажности угля при 20 °С и 100 %-ном насыщении.

Для каменных углей и антрацита W_t^6 =4,5 - 6 %; для бурых углей с приведенной влажностью 10-16 % W_t^6 =19-24 %; для бурых углей с большей приведенной влажностью W_t^6 =28-30 %.

5-04. Тепло, затраченное на разложение карбонатов при сжигании сланцев

$$Q_{крб} = 40к(CO_2)^r_{крб}, \text{ кДж/кг}. \quad (5\text{-}05)$$

Коэффициент разложения карбонатов $к$ принимается по п. 4.11.

5-05. Потеря тепла с уходящими газами определяется как разность энтальпий продуктов сгорания на выходе из последней поверхности нагрева и холодного воздуха

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_р}100 = \frac{\left[I_{ух} - (\alpha_{ух} - \beta')I_{0.прс} - \beta' I_{0.х.в}\right](100 - q_4)}{Q_р}, \%, \quad (5\text{-}06)$$

где $I_{ух}$ - энтальпия уходящих газов при избытке воздуха $\alpha_{ух}$ и температуре $\vartheta_{ух}$, кДж/кг (кДж/м^3);

$I_{0.х.в}$ - энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на входе в воздушный тракт (перед калорифером, вентилятором и т.п), кДж/кг (кДж/м^3). Температура холодного воздуха принимается равной 30 °С, если не задана другая величина;

β' - отношение количества воздуха на входе в воздушный тракт к теоретически необходимому. При рециркуляции горячего воздуха (в том числе и при схеме с избыточным воздухом) доля рециркулирующего воздуха не включается в β';

$I_{0.прс}$ - энтальпия воздуха, присасываемого в газоходы котла, кДж/кг (кДж/м^3);

q_4 - потеря от механической неполноты сгорания, %; находится по п. 5-08.

При сушке топлива в разомкнутой системе пылеприготовления отбираемыми из тракта газами в количестве $V^н_{отб}$, м^3/кг, потеря тепла q_2 определяется на 1 кг подсушенного топлива

$$q_2 = \frac{\left[rI_{отб} + (1-r)I_{ух} - (\alpha_{ух} - \beta')I_{0.прс} - \beta' I_{0.х.в}\right](100 - q_4)}{Q_р}, \%, \quad (5\text{-}07)$$

где $r = \frac{V^н_{отб}}{V^н_{г.отб}}$ - доля газов, отбираемых на сушку топлива;

$V^н_{г.отб}$ - объем газов за местом отбора, м^3/кг;

$I_{отб}$ - энтальпия газов в месте отбора, кДж/кг;

$Q_р$ - располагаемое тепло на 1 кг подсушенного топлива, кДж/кг.

5-06. При установке встроенного золоуловителя в (5-06) добавляется потеря тепла, вызванная удалением золы при температуре $\vartheta_{зл}$

$$\Delta I_{зу} = \eta_{зу} a_{ун} \frac{A^r}{100}\left[(c\vartheta)_{зл} - (c\vartheta_{ух})_{зл}\right], \text{ кДж/кг}, \quad (5\text{-}08)$$

где $\eta_{зу}$ - КПД золоуловителя.

5-07. Потеря тепла от химической неполноты сгорания обусловлена суммарной теплотой сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах

$$q_з = \frac{Q_з}{Q_р}100, \%.$$

При сжигании твердых топлив в камерных топках q_3 принимается по табл. XVIII - XIX, при сжигании жидких и газообразных топлив - по табл. XX, при сжигании твердых топлив в слоевых топках - по табл. XXI.

5-08. Потеря тепла от механической неполноты сгорания q_4 определяется недожогом топлива в шлаках, провале и уносе (при частичном возврате последнего в топку учитывается только унос, не уловленный устройствами для возврата).

Величина q_4 рассчитывается по формуле

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_р} 100 = \frac{(a_{шл+пр} \frac{\Gamma_{шл+пр}}{100 - \Gamma_{шл+пр}} + a_{ун} \frac{\Gamma_{ун}}{100 - \Gamma_{ун}}) 32{,}7 \cdot 10^3 A^r}{Q_р}, \%, \quad (5\text{-}09)$$

где $a_{шл+пр}$, $a_{ун}$ - доли золы топлива в шлаке, провале и уносе, %;

$\Gamma_{шл+пр}$, $\Gamma_{ун}$ - содержание горючих в шлаке, провале и уносе, %.

В табл. XVIII и XIX даны значения q_4 для камерных топок с твердым и жидким шлакоудалением, в табл. XXI $q_{4шл}$ и $q_{4ун}$ и суммарные значения q_4 для слоевых топок. При значительном отклонении зольности от указанной в табл. XXI при сжигании в слоевых топках, а также при надежных данных о значениях a и Γ q_4 вычисляется по формуле (5-09).

При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом потеря тепла от механического недожога принимается: при сжигании низкореакционных углей и доле мазута (газа) по теплу менее 0,5 - по твердому топливу с коэффициентом 1,2, а при доле 0,5 - 1,0 - по твердому топливу; при сжигании высокореакционных углей значение q_4 принимается усредненным по теплу: при доле мазута (газа) равной нулю - по твердому топливу и по мазуту (газу) при доле их равной 1.

5-09. Потеря тепла от наружного охлаждения q_5 для стационарных котлов принимается по рис. 5.1. При производительности котла (корпуса) > 250 кг/с (900 т/ч) принимается q_5=0,2 %.

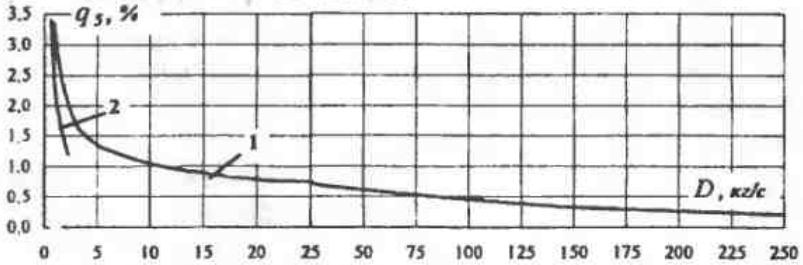


Рис. 5.1. Потери тепла от наружного охлаждения.
1 - котельный агрегат (с хвостовыми поверхностями);
2 - собственно котел (без хвостовых поверхностей).

При нагрузках, отличающихся от номинальной более чем на 25 %, величина q_5 пересчитывается по формуле

$$q_5 = q_{5ном} \frac{D_н}{D}, \%. \quad (5\text{-}10)$$

Потеря тепла от наружного охлаждения системы пылеприготовления невелика; она в значительной мере компенсируется теплом, выделяющимся при работе мельниц, и поэтому не учитывается.

Разбивка потери тепла от наружного охлаждения котла по отдельным газоходам практически не сказывается на результатах расчета. Доли этой потери, приходящиеся на отдельные газоходы, для упрощения принимаются пропорциональными количеству тепла, отдаваемого газами в соответствующих газоходах. Поэтому при определении количества тепла, отданного газами, потери от наружного охлаждения учитываются введением коэффициента сохранения тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_к + q_5} \quad (5\text{-}11)$$

5-10. Потеря с теплом шлака $q_{6\,шл}$ вводится в расчет для всех твердых топлив при камерном сжигании с жидким шлакоудалением и слоевом. При камерном сжигании с твердым шлакоудалением $q_{6\,шл}$ может не учитываться при $A^r \le \frac{Q_i^r}{400}$.

Потеря тепла определяется по формуле

$$q_{6\,шл} = \frac{Q_{6шл}}{Q_р} 100 = \frac{a_{шл} (c\vartheta)_{зл} A^r}{Q_р}, \%, \quad (5\text{-}12)$$

где $a_{шл}$=1–$a_{ун}$; $a_{ун}$ - находится по табл. XVIII, XIX и XXI.

$(c\vartheta)_{зл}$ - энтальпия шлака, кДж/кг; определяется по табл. XIV.

Температура золы (шлака) принимается равной: при твердом шлакоудалении - 600 °С, при жидком шлакоудалении - температуре начала нормального жидкого шлакоудаления $t_{н.ж}$ (табл. II), при отсутствии данных - температуре жидкоплавкого состояния золы $t_С$, увеличенной на 100 °С.

При слоевом сжигании сланцев в (5-12) вместо A^r подставляется выражение $A^r + 0{,}3(CO_2)^r_{\text{крб}}$, %. Содержание диоксида карбонатов приведено в табл. I (второе слагаемое в графе A^r). При камерном сжигании сланцев поправка на содержание диоксида карбонатов в величину A^r не вводится.

5-11. Потеря тепла на охлаждение не включенных в циркуляционную схему котла панелей и балок топки при отсутствии специальных указаний определяется по формуле

$$q_{6\,\text{охл}} = \frac{Q_{6\,\text{охл}}}{Q_р} 100, \ \%$$

или приближенно

$$q_{6\,\text{охл}} \cong \frac{120 H_{\text{охл}}}{Q_к} 100, \ \%, \qquad (5\text{-}13)$$

где $H_{\text{охл}}$ - лучевоспринимающая поверхность балок и панелей, м^2. Для панелей принимается в расчет боковая поверхность, обращенная в топку;

$Q_к$ - полное количество тепла, полезно использованное в котле, кВт; находится по п. 5-13.

5-12. Суммарная потеря тепла в котле

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{6\,\text{охл}} + q_{6\,\text{шл}}, \ \%. \qquad (5\text{-}14)$$

Коэффициент полезного действия котла (брутто)

$$\eta_к = 100 - \sum q, \ \%. \qquad (5\text{-}15)$$

5-13. Полное количество тепла, полезно использованное в котле

$$Q_к = \left(D_{\text{пе}} - D_{\text{обв}}\right)\left(i_{\text{пе}} - i_{\text{п.в}}\right) + D_{\text{обв}}\left(i_{\text{пе}} - i_{\text{обв}}\right) + \sum D_{\text{впр}}\left(i_{\text{п.в}} - i_{\text{впр}}\right) + D_{\text{н.п}}\left(i''_s - i_{\text{п.в}}\right) +$$

$$+ D_{\text{пр}}\left(i'_s - i_{\text{п.в}}\right) + \sum D_{\text{пп}}\left(i''_{\text{пп}} - i'_{\text{пп}}\right) + \sum D^{\text{пп}}_{\text{впр}}\left(i''_{\text{пп}} - i^{\text{пп}}_{\text{впр}}\right) + Q_{\text{от.в}} + Q_{\text{изб}}, \ \text{кВт}, \qquad (5\text{-}16)$$

третий член формулы учитывается только при впрыске в первичный тракт «сторонней» воды с энтальпией $i_{\text{впр}}$, отличной от $i_{\text{п.в}}$;

$D_{\text{пе}}$ - количество выработанного перегретого пара, кг/с;

$D_{\text{обв}}$ - расход питательной воды, кг/с, подаваемой в котел мимо регенеративных подогревателей с энтальпией $i_{\text{обв}}$;

$i_{\text{пе}}$ - энтальпия перегретого пара, кДж/кг; определяется по давлению и температуре перед главной паровой задвижкой;

$i_{\text{п.в}}$ - энтальпия питательной воды, кДж/кг; определяется по давлению и температуре на входе в первую поверхность котла;

$D_{\text{н.п}}$ - количество насыщенного пара, кг/с, с энтальпией i''_s, отданного до перегревателя; определяется по давлению в барабане котла;

$D_{\text{пр}}$ - расход воды на продувку котла, кг/с (для прямоточных сепараторных котлов - продувка сепаратора), с энтальпией кипящей воды i'_s, при давлении в барабане (сепараторе). При величине продувки меньше 2 % тепло продувочной воды может не учитываться;

$D_{\text{пп}}$ - расходы пара на входе в промежуточные перегреватели, кг/с, с начальной $i'_{\text{пп}}$ и конечной $i''_{\text{пп}}$ энтальпией;

$D^{\text{пп}}_{\text{впр}}$ - расходы впрысков в промперегреватели, включая впрыски питательной воды, с энтальпией $i^{\text{пп}}_{\text{впр}}$;

$Q_{\text{от.в}}$ - тепло воды, подогреваемой в котле и отдаваемой «на сторону», кВт;

$Q_{изб}$ - тепло избыточного (отдаваемого «на сторону») воздуха

$$Q_{изб} = \beta_{изб}(I_{0.изб} - I'_{0.вп})B_р, \text{ кВт.} \quad (5\text{-}17)$$

При схеме с возвратом охлажденного избыточного воздуха в воздухоподогреватель $I'_{0.вп}$ заменяется энтальпией воздуха на выходе из охлаждающего теплообменника $I_{0.охл}$;

$I'_{0.вп}$ - энтальпия теоретически необходимого количества воздуха на входе в воздухоподогреватель (котел), кДж/кг (кДж/м^3); определяется по п. 4-09;

$\beta_{изб}$ - отношение количества избыточного (отдаваемого «на сторону») воздуха к теоретически необходимому.

В случае отбора газов на рециркуляцию (из уходящих газов за сечением, по которому определяется q_2) тепло, возвращенное в котел рециркулирующими газами

$$Q_{взв} = rI_{ух}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3), \quad (5\text{-}18)$$

где r - доля рециркулирующих газов, отбираемых после последней поверхности нагрева котла;

$I_{ух}$ - энтальпия уходящих газов за местом отбора, кДж/кг (кДж/м^3).

5-14. Расход топлива, подаваемого в топку

$$B = \frac{Q_к}{\frac{Q_р\eta_к}{100} + Q_{в.вн} + Q_ф}, \text{ кг/с (м}^3\text{/с).} \quad (5\text{-}19)$$

Тепло, внесенное в топку воздухом, при его подогреве вне котла - паром из отборов, отработанным теплом и т.п.

$$Q_{в.вн} = (\beta' - \beta_{изб})(I'_{0.вп} - I_{0.х.в}), \text{ кДж/кг (кДж/м}^3). \quad (5\text{-}20)$$

Тепло, внесенное в топку паровым дутьем («форсуночным» паром),

$$Q_ф = G_ф(i_ф - 2400), \text{ кДж/кг,} \quad (5\text{-}21)$$

где $G_ф$, $i_ф$ - расход и энтальпия пара на дутье или распыливание топлива, кг/кг и кДж/кг.

При установке высоконапорных вентиляторов с перепадом полного давления в тракте $\Delta H_п > 10$ кПа следует учитывать тепло, вносимое воздухом, подогретым в вентиляторе. Величина подогрева принимается численно равной перепаду $\Delta H_п$, выраженному в кПа

$$t''_в - t_{х.в} = \Delta H_п, \text{ °C,}$$

где $t_{х.в}$ и $t''_в$ - температуры воздуха до вентилятора и за ним.

При сжигании смеси однородных топлив их суммарный расход находится по формуле (5-19). Расход каждого топлива определяется из суммарного расхода пропорционально его массовой или тепловой доле (п.п. 2-21 и 2-22). При сжигании смеси твердого (жидкого) и газообразного топлив по формуле (5-19) определяется расход твердого (жидкого) топлива. Расход газообразного топлива $B_{газ} = B_{тв} \cdot x$ (п. 2-23).

Расход топлива и КПД котла при расчете на рабочее топливо в случае его подсушки уходящими газами по разомкнутому циклу

$$B = B' \frac{100 - (W^t_t)'}{100 - W^t_t}, \text{ кг/с;} \quad (5\text{-}22)$$

$$\eta_к = \eta'_к \frac{B'Q'_р}{BQ_р}, \text{ \%,} \quad (5\text{-}23)$$

где обозначения со штрихом относятся к подсушенному, а без штриха - к рабочему (сырому) топливу. При определении $\eta'_к$ в величину q_4 условно вводится потеря с уносом пыли из пылеуловителя, которая находится из расчета системы пылеприготовления.

5-15. Для определения объемов продуктов сгорания и воздуха, а также тепла, отданного газами в поверхностях нагрева, вводится расчетный расход топлива, вычисляемый с учетом механической неполноты сгорания

$$B_{\text{р}} = B\left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \text{ кг/с .} \qquad (5\text{-}24)$$

В дальнейшем во все формулы для определения объемов и количеств тепла подставляется величина $B_{\text{р}}$. В величины удельных объемов газов и воздуха и их энтальпий поправка на механическую неполноту сгорания не вносится.

5-16. Расчет системы пылеприготовления, горелок и топливоподачи ведется по полному расходу топлива B, а тяги и дутья - по расчетному $B_{\text{р}}$.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ

6-А. Геометрические характеристики топки

6-01. При расчете теплообмена в топочной камере ее объем $V_т$, м^3, определяется в соответствии со схемами рис. 6.1. Границами объема являются осевые плоскости экранных труб или обращенные в топку поверхности защитного огнеупорного слоя; в местах, не защищенных экранами, - стены топочной камеры. В выходном сечении камеры ее объем ограничивается плоскостью, проходящей через оси первого ряда ширм, фестона или котельного пучка. Если ширмовые пакеты вверху топки расположены по всему ее сечению, то верхней границей топки служит проходящая под ширмами горизонтальная плоскость (рис. 6.1 *а*, *б*, *д*), даже если расстояния от стенки до пакета и между пакетами больше шага ширм. Нижней границей объема топки служит под. При наличии холодной воронки за нижнюю границу объема топки условно принимается горизонтальная плоскость, отделяющая ее нижнюю половину.

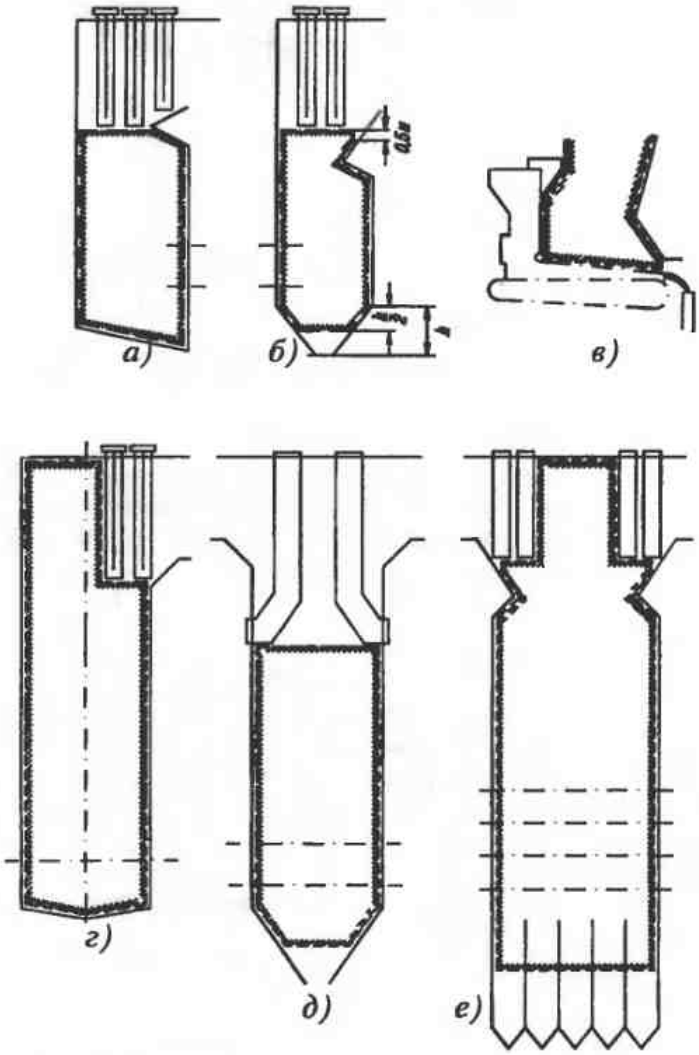


Рис. 6.1. К определению границ расчетного объема топки при шаге ширм s_1<700 мм.

Ширмы, расположенные в районе выходного окна топки с шагом s_1≥700 мм, рассчитываются совместно с топочной камерой.

Ширмы, расположенные у стены, противоположной выходному окну, рассчитываются совместно с топочной камерой, независимо от величины поперечного шага ширм.

Для слоевых топок объем топочной камеры ограничивается снизу площадью колосниковой решетки и вертикальной плоскостью, проходящей через концы колосников, скребки шлакоснимателя или элементы шлакового подпора (рис. 6.1*в*). Для слоевых топок с цепными механическими решетками из объема, ограниченного снизу плоскостью колосникового полотна, исключается объем слоя топлива и шлака, средняя толщина которого принимается равной: для каменных углей 150-200 мм, для бурых углей - 300 мм, для древесной щепы - 500 мм, для кускового торфа - в зависимости от положения балки, ограничивающей выход топлива на колосниковое полотно. В топках с механическим забрасывателем толщина слоя топлива мала и при определении объема топки не учитывается. Для топок системы Шершнева в активный объем топки включается объем шлаковой воронки.

6-02. Полная поверхность стен топки $F_{ст}$, м^2, без ширм, включенных в ее объем, вычисляется как сумма плоскостей $F_{пл}$, м^2, ограничивающих объем топочной камеры (рис. 6.1), и двусветных экранов

$$F_{ст} = \Sigma F_{пл}, \text{ м}^2. \qquad (6\text{-}01)$$

Площадь стены, занятая экраном, $F_{пл}$, м^2, определяется по расстоянию между осями крайних труб данного экрана и освещенной длине экранных труб. Поверхность двусветных экранов находится как удвоенное произведение расстояния между осями крайних труб на освещенную длину труб.

При включении в топочный объем ширм поверхность стен топки определяется по формуле

$$F_{ст} = F_{пл.свб} + F_{пл.ш} Z_{ш} + F_{пл.пр} Z_{пр}, \text{ м}^2, \quad (6\text{-}02)$$

где $F_{пл.свб}$ - поверхность стен свободного объема топки, м^2;

$F_{пл.ш}$ - поверхность ширм, м^2; определяется так же, как для двусветных экранов;

$F_{пл.пр}$ - поверхность стен, прилегающих к ширмам, м^2.

При вычислении величины $F_{пл.свб}$ условная разделительная поверхность между свободным объемом топки и ширмами не учитывается.

Входящие в (6-02) коэффициенты $Z_{ш}$ и $Z_{пр}$ учитывают неравномерность освещенности ширм и прилегающих экранов

$$Z_{ш} = \frac{a_{ш}}{a_{свб}}; \qquad Z_{пр} = \frac{a_{пр}}{a_{свб}}, \quad (6\text{-}03)$$

где $$a_{ш} = a_{мш} + \varphi_{свб.ш}\left(1 - a_{мш}\right)a_{свб}; \qquad a_{пр} = a_{мш} + \varphi_{свб.пр}\left(1 - a_{мш}\right)a_{свб}, \quad (6\text{-}04)$$

здесь $\varphi_{свб.пр}$ - угловои коэффициент облученности для прилегающего к ширмам экрана;

$\varphi_{свб.ш}$ - угловой коэффициент облученности для ширм;

$a_{свб}$, $a_{мш}$ - поглощательная способность (степень черноты) свободного и межширмового объемов топки.

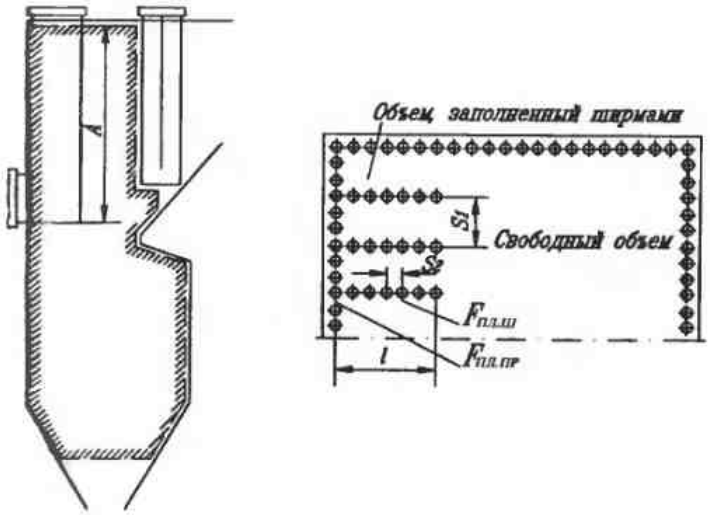


Рис. 6.2. К расчету топочной камеры с ширмами.

Угловой коэффициент облученности $\varphi_{свб.пр}$ рассчитывается по формуле

$$\varphi_{свб.пр} = \sqrt{\left(\frac{l}{s_1}\right)^2 + 1} - \frac{l}{s_1}, \quad (6\text{-}05а)$$

где глубина ширмы l и шаг s_1 принимаются по рис. 6.2.

Угловой коэффициент облученности $\varphi_{свб.ш}$ определяется из зависимости

$$\varphi_{свб.ш} = 1 - \varphi_{свб.пр}. \quad (6\text{-}05б)$$

Величины $a_{свб}$ и $a_{мш}$ рассчитываются по (7-65) при значениях эффективной толщины слоя для свободного $s_{свб}$ и межширмового $s_{мш}$ объемов топки, определяемых по (6-08а) и (6-08б).

Если по (6-03) получено Z>1, то в расчет принимается Z=1.

Лучевоспринимающая поверхность топки, не имеющей ширм, включенных в ее активный объем

$$H_{л} = \sum F_{пл} x, \text{ м}^2, \quad (6\text{-}06а)$$

где x - угловой коэффициент экрана, определяемый по п. 6-06. Для участков стен, не закрытых экранами (в том числе горелки, лазы, сопла), угловой коэффициент x = 0.

Если в объем топки включаются ширмы, то формула (6-06а) имеет вид

$$H_{л} = F_{пл.свб} x + F_{пл.ш} x Z_{ш} + F_{пл.пр} x Z_{пр}. \quad (6\text{-}06б)$$

6-03. Эффективная толщина излучающего слоя топки

$$s = 3{,}6\frac{V_т}{F_{ст}},\ м, \qquad (6\text{-}07)$$

где $V_т$ и $F_{ст}$ - объем и поверхность стен топки, м^3, м^2.

При включении в объем топки ширм входящая в формулу (6-07) величина $F_{ст}$ рассчитывается по (6-02), а объем топочной камеры принимается равным

$$V_т = V_{свб} + V_{мш},\ м^3,$$

где $V_{свб}$ и $V_{мш}$ - свободный и межширмовый объемы топочной камеры, м^3.

Эффективная толщина излучающего слоя для свободного и межширмового объемов топки:

$$s_{свб} = 3{,}6\frac{V_{свб}}{F_{свб} + F_{разд}},\ м; \qquad (6\text{-}08а)$$

$$s_{мш} = \frac{1{,}8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{s_1} + \frac{1}{l}},\ м, \qquad (6\text{-}08б)$$

где высота ширмы A принимается по рис. 6.2.

6-04. Высота топочной камеры $H_т$, м, определяется как расстояние от середины холодной воронки (пода топки) до середины выходного окна топочной камеры или до ширм с шагом s_1<700 мм в случае заполнения ими верхней части топки более чем на 50 % (рис. 6.3).

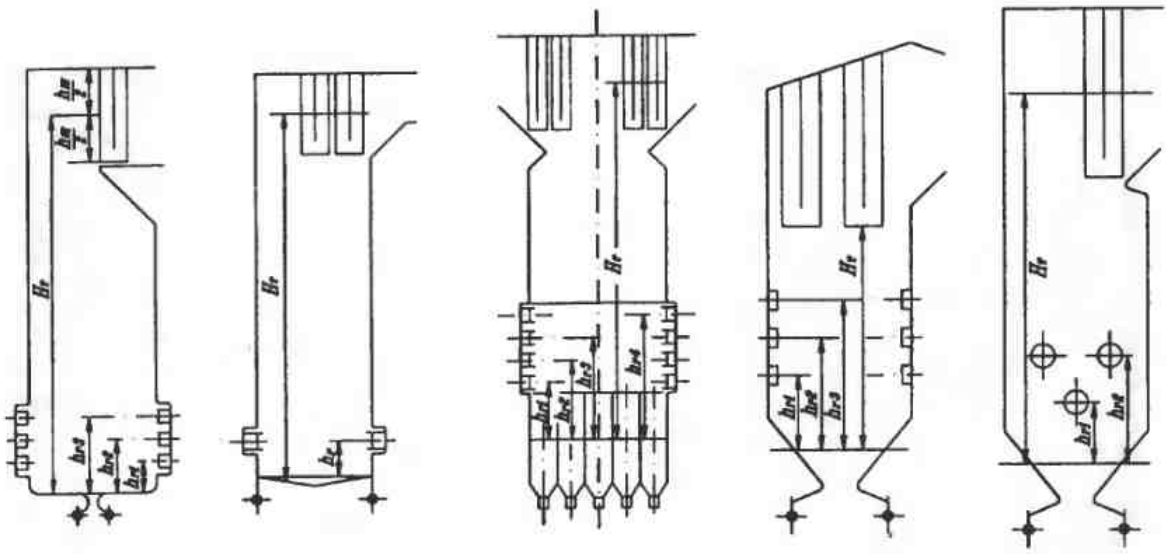


Рис. 6.3. К определению относительного уровня горелок.

6-05. Средний уровень расположения настенных и угловых горелок в топках с верхним отводом газов при совместном сжигании разнородных топлив, когда в каждый ярус подаются разные виды топлива

$$h_г = \frac{\sum^{m} nBQ_i^r h_г}{\sum^{m} nBQ_i^r},\ м, \qquad (6\text{-}09)$$

где m - число ярусов горелок;

n - число горелок в ярусе;

B и Q_i^r - расход и теплота сгорания топлива, подаваемого в горелку яруса;

$h_г$ - уровень расположения осей горелок в ярусе (рис. 6.3); определяется как расстояние от середины холодной воронки (пода топки) до оси горелок в ярусе.

При сжигании одного вида топлива средний уровень расположения настенных и угловых горелок

$$h_г = \frac{\sum^{m} nBh_г}{\sum^{m} nB}, \text{ м.} \qquad (6\text{-}10)$$

Относительный уровень расположения горелок в топке характеризуется величиной

$$x_г = \frac{h_г}{H_т}. \qquad (6\text{-}11)$$

Для топок с подовым расположением горелок и слоевых топок принимается $x_г$=0.

6-06. Угловой коэффициент гладкотрубных экранов определяется в зависимости от их конструкции:

однорядный настенный экран -номограмма 1а, кривые 1-4;
экран двустороннего облучения -номограмма 1а, кривая 5;
двухрядный настенный экран -номограмма 1б;
экран из чередующихся труб разных диаметров:
весь экран x -номограмма 1в, график I;
трубы малого диаметра x_1 -номограмма 1в, график II.

Лучевоспринимающая поверхность всего экрана из труб разных диаметров определяется как $F_{пл} \cdot x$, а лучевоспринимающая поверхность труб малого диаметра как $F_{пл} \cdot x_1$.

Для ошипованных и плавниковых экранов, а также для экранов, закрытых чугунными плитами, x=1.

Угловой коэффициент плоскости, проходящей через оси первого ряда труб котельного пучка (фестона, ширм), расположенного в выходном окне топки, равен 1.

При расчете последующих поверхностей нагрева следует учитывать, что угловой коэффициент самого котельного пучка (фестона, ширм) может быть меньше единицы (табл. 7-1 и 7-2) и часть падающего из топки тепла проходит сквозь пучок на расположенные за ним поверхности нагрева.

6-Б. Радиационные свойства продуктов сгорания

6-07. Основной радиационной характеристикой продуктов сгорания служит критерий поглощательной способности (критерий Бугера)

$$\mathrm{Bu} = kps, \qquad (6\text{-}12)$$

где k - коэффициент поглощения топочной среды, 1/(м·МПа), рассчитывается по температуре и составу газов на выходе из топки. При его определении учитывается излучение трехатомных газов (RO_2, H_2O) и взвешенных в их потоке частиц сажи, летучей золы и кокса;

p - давление в топочной камере, МПа;

s - эффективная толщина излучающего слоя, м.

6-08. Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания (RO_2, H_2O)

$$k_г = k_г^{\circ} r_п = \left(\frac{7{,}8 + 16 r_{H_2O}}{\sqrt{10 p r_п s}} - 1 \right) \left(1 - 0{,}37 \cdot 10^{-3} T_т'' \right) r_п, \text{ 1/(м·МПа),} \qquad (6\text{-}13)$$

где $r_п = r_{RO_2} + r_{H_2O}$ - суммарная объемная доля трехатомных газов в продуктах сгорания (гл. 4);

$T_т''$ - температура газов на выходе из топки, К.

Величина $k_г^{\circ}$ определяется по номограмме 2.

6-09. Коэффициент поглощения лучей частицами сажи

$$k_c = \frac{1,2}{1+\alpha_т^2}\left(\frac{C^r}{H^r}\right)^{0,4}\left(1,6\cdot 10^{-3}T_т'' - 0,5\right),\ 1/(м\cdot МПа), \qquad (6\text{-}14)$$

где $\alpha_т$ - коэффициент избытка воздуха на выходе из топки;

C^r/H^r - соотношение углерода и водорода в рабочей массе топлива.

При сжигании газа

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12\sum\frac{m}{n}C_m^r H_n^r, \qquad (6\text{-}15)$$

где m и n - количества атомов углерода и водорода в соединении.

6-10. Коэффициент поглощения лучей частицами золы

$$k_{зл}\mu_{зл} = \frac{10^4 A_{зл}}{\sqrt[3]{(T_т'')^2}}\frac{\mu_{зл}}{1+1,2\mu_{зл}s},\ 1/(м\cdot МПа), \qquad (6\text{-}16)$$

где $\mu_{зл}$ - концентрация золы в продуктах сгорания; определяется по формуле (4-11).

Коэффициент $A_{зл}$ для топок с твердым шлакоудалением принимается по табл. 6-1.

Таблица 6-1

Вид топлива	$A_{зл}$
АШ	1,00
Каменный[1] и тощий угли	0,80
Бурый уголь	0,75
Сланец	0,75
Торф	0,60

[1] Для экибастузского угля при $R_{90} \le 15\ \%$ $A_{зл}$=1,0

Для топок с жидким шлакоудалением $A_{зл}$ принимается на 0,10 выше приведенных в табл. 6-1.

6-11. Коэффициент поглощения лучей частицами кокса $k_{кокс}\mu_{кокс}$ принимается по табл. 6-2.

Таблица 6-2

Вид топлива	$k_{кокс}\mu_{кокс}$ 1/(м·МПа)
АШ, тощий уголь	0,25
Каменный уголь	0,20
Бурый уголь, сланец, торф	0,10

6-12. При расчете критерия Bu принимается, что при сжигании мазута и газа основными излучающими компонентами являются газообразные продукты сгорания (RO_2, H_2O) и взвешенные в их потоке сажевые частицы, при сжигании твердого топлива - газообразные продукты сгорания (RO_2, H_2O) и взвешенные в их потоке частицы золы и кокса.

При сжигании мазута или газа коэффициент поглощения топочной среды рассчитывается с учетом относительного заполнения топочной камеры светящимся пламенем (частицами сажи), характеризуемым коэффициентом m. Расчет проводится по формуле

$$k = k_г + mk_c,\ 1/(м\cdot МПа). \qquad (6\text{-}17)$$

При сжигании мазута в газоплотных котлах m=0,3; для негазоплотных котлов m=0,6.

При сжигании природного газа m=0,1. Впредь, до уточнения, это же значение принимается и для других газов, кроме доменного, для которого m=0.

При сжигании твердых топлив коэффициент поглощения топочной среды

$$k = k_г + k_{зл}\mu_{зл} + k_{кокс}\mu_{кокс},\ 1/(м\cdot МПа). \qquad (6\text{-}18)$$

Для слоевых топок принимается $k_{кокс}\mu_{кокс}$ =0.

6-13. При сжигании смеси топлив критерий Bu определяется по среднему коэффициенту поглощения k, рассчитываемому с учетом тепловой доли каждого из топлив.

Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания рассчитывается по объемным долям r_{RO_2} и r_{H_2O}, определяемым для смеси топлив по п. 4-12.

Средний эффективный коэффициент поглощения для смеси топлив рассчитывается по формулам (6-19) - (6-22):

– при совместном сжигании газов (мазутов)

$$k = k_г + m\sum_{i=1}^{n} k_{с.i} q_i, \ 1/(м\cdot МПа), \qquad (6\text{-}19)$$

где $k_{с.i}$ - коэффициент поглощения лучей частицами сажи, 1/(м·МПа); рассчитывается для каждого газа (мазута) по (6-14).

При сжигании природного (коксового) газа в смеси с доменным газом величина коэффициента m уменьшается пропорционально тепловой доле доменного газа $q_{д.г}$ от m=0,1 при $q_{д.г}$ =0 до m=0 при $q_{д.г}$ =1;

– при совместном сжигании мазута и газа

$$k = k_г + m\left[k_{с.м} q_м + k_{с.г}\left(1 - q_м\right)\right], \ 1/(м\cdot МПа), \qquad (6\text{-}20)$$

где $k_{с.м}$ и $k_{с.г}$ - коэффициенты поглощения лучей частицами сажи, 1/(м·МПа); рассчитываются по (6-14) соответственно для мазута и газа;

коэффициент m при совместном сжигании мазута и газа определяется по формуле

$$m = m_м q_м + m_г\left(1 - q_м\right),$$

где $m_м$ и $m_г$ - значения m для мазута и газа;

$q_м$ - доля мазута в суммарном тепловыделении;

– при совместном сжигании твердого топлива и мазута

$$k = k_г + m k_с q_м + \left(k_{зл}\mu_{зл} + k_{кокс}\mu_{кокс}\right)\left(1 - q_м\right), \ 1/(м\cdot МПа); \qquad (6\text{-}21)$$

– при совместном сжигании твердого топлива и газа

$$k = k_г + m k_с q_г + \left(k_{зл}\mu_{зл} + k_{кокс}\mu_{кокс}\right)\left(1 - q_г\right), \ 1/(м\cdot МПа), \qquad (6\text{-}22а)$$

где $q_г$ - доля газа в суммарном тепловыделении;

– при совместном сжигании твердого топлива, мазута и газа

$$k = k_г + \left(1 - q_м - q_г\right)\left(k_{зл}\mu_{зл} + k_{кокс}\mu_{кокс}\right) + m\left(k_{с.м} q_м + k_{с.г} q_г\right), \ 1/(м\cdot МПа). \qquad (6\text{-}22б)$$

6-В. Расчет суммарного теплообмена в топке

6-14. Методика расчета суммарного теплообмена в топке базируется на приложении теории подобия к топочному процессу. Основными параметрами, определяющими безразмерную температуру газов на выходе из топки $\theta''_т$, являются критерий радиационного теплообмена Больцмана (Bo) и критерий поглощательной способности Бугера (Bu). Вид функциональной зависимости, связывающий между собой эти параметры, установлен на основании опытных данных по теплообмену в топках котлов.

Учет влияния на теплообмен неизотермичности температурного поля топки и эффекта рассеяния излучения обеспечивается использованием эффективного значения критерия $\mathrm{B\tilde{u}}$, определяемого по п. 6-17.

6-15. Безразмерная температура газов на выходе из топочной камеры

$$\theta''_т = \frac{T''_т}{T_а} = \frac{\mathrm{Bo}^{0,6}}{M\,\mathrm{B\tilde{u}}^{0,3} + \mathrm{Bo}^{0,6}}, \qquad (6\text{-}23)$$

где $T_а$ - адиабатическая температура горения топлива, К;

M - параметр, учитывающий влияние на интенсивность теплообмена относительного уровня расположения горелок, степени забалластированности топочных газов и других факторов.

Формула (6-23) справедлива в области значений $\theta''_т \le 0{,}9$.

6-16. Критерий Bo рассчитывается по формуле

$$\mathrm{Bo} = \frac{\varphi B_{\text{р}} (Vc)_{\text{ср}}}{\sigma_{\text{о}} \psi_{\text{ср}} F_{\text{ст}} T_{\text{а}}^3}, \qquad (6\text{-}24)$$

где $B_{\text{р}}$ - расчетный расход топлива, кг/с (м^3/с); определяется по (5-24);

$F_{\text{ст}}$ - поверхность стен топки, м^2; определяется по п. 6-02;

$(Vc)_{\text{ср}}$ - средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг (1 м^3) топлива в интервале температур $\left(T_{\text{а}} - T_{\text{т}}''\right)$, кДж/(кг·К) [кДж/(м^3·К)]; определяется по п.6-19;

$\psi_{\text{ср}}$ - среднее значение коэффициента тепловой эффективности экранов; определяется по п. 6-22;

φ - коэффициент сохранения тепла; определяется по (5-11);

$\sigma_{\text{о}} = 5{,}67 \cdot 10^{-11}$ кВт/(м^2·К^4) - коэффициент излучения абсолютно черного тела.

6-17. Эффективное значение критерия Бугера $\mathrm{B\tilde{u}}$ определяется по формуле

$$\mathrm{B\tilde{u}} = 1{,}6 \ln\left(\frac{1{,}4\,\mathrm{Bu}^2 + \mathrm{Bu} + 2}{1{,}4\,\mathrm{Bu}^2 - \mathrm{Bu} + 2}\right). \qquad (6\text{-}25)$$

По формуле (6-25) построена номограмма 3.

6-18. Для камерных топок параметр M рассчитывается по формуле

$$M = M_{\text{о}}\left(1 - 0{,}4 x_{\text{т}}\right)\sqrt[3]{r_{\text{v}}}, \qquad (6\text{-}26\text{а})$$

для слоевых топок ($x_{\text{т}} = 0$)

$$M = M_{\text{о}}\left(1 + \rho\right)\sqrt[3]{r_{\text{v}}}, \qquad (6\text{-}26\text{б})$$

где $\rho = R / F_{\text{ст}}$ - соотношение между поверхностью R зеркала горения (слоя) и поверхностью стен топки $F_{\text{ст}}$.

$M_{\text{о}}$ - коэффициент, принимается:

для пылеугольных топок с твердым шлакоудалением:

при тангенциальном и встречном расположении горелок $M_{\text{о}} = 0{,}46$;

при однофронтовом расположении горелок $M_{\text{о}} = 0{,}42$;

для пылеугольных топок с жидким шлакоудалением $M_{\text{о}} = 0{,}44$;

для слоевых топок $M_{\text{о}} = 0{,}46$;

для газомазутных топок при настенном расположении горелок $M_{\text{о}} = 0{,}40$;

для газомазутных топок при подовом расположении горелок ($x_{\text{т}}$=0) $M_{\text{о}} = 0{,}36$.

Для топок, оборудованных поворотными горелками, коэффициент $M_{\text{о}}$ соответственно увеличивается или уменьшается на 0,01 на каждые 10° угла поворота горелок вниз или вверх.

При сжигании твердого топлива совместно с мазутом или газом коэффициент $M_{\text{о}}$ принимается по его значению для твердого топлива.

При сжигании смеси природного, коксового и доменного газов в комбинированных многотопливных прямоточно-вихревых горелках коэффициент $M_{\text{о}}$ зависит от тепловой доли доменного газа в смеси $q_{\text{д.г}}$, уменьшаясь с ее увеличением.

При ступенчатом сжигании топлива[1] учитывается зависимость температуры газов на выходе из топки от доли третичного воздуха $g_{\text{тр.в}}$

$$M = M_{\text{о}}\left(1 - 0{,}4 x_{\text{т}}\right)\left(1 - \kappa g_{\text{тр.в}}\right)\sqrt[3]{r_{\text{v}}}, \qquad (6\text{-}26\text{в})$$

где $\kappa = 0{,}45$ - при двухступенчатом сжигании газа и мазута;

$\kappa = 0{,}60$ - при трехступенчатом сжигании угольной пыли и вводе дополнительного топлива воздухом;

$\kappa = 0{,}20$ - при трехступенчатом сжигании угольной пыли и вводе дополнительного топлива газами рециркуляции;

r_{v} - параметр забалластированности топочных газов

[1] Рекомендация для случая ступенчатого сжигания твердого топлива основана на ограниченном количестве опытных данных.

$$r_v = \frac{V_г^н(1+r)}{V_{0.N_2}^н + V_{RO_2}^н},\ м^3/м^3, \qquad (6\text{-}27)$$

где r - коэффициент рециркуляции; определяется по (4-25);

$V_г^н$ - объем газов на выходе из топки без учета рециркуляции, м³/кг (м³/м³).

Наиболее сильное влияние параметр r_v оказывает на теплообмен в топках с газовой сушкой топлива, а также при вводе в топочную камеру рециркулирующих газов, отобранных из зоны хвостовых поверхностей нагрева.

6-19. Средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива

$$(Vc)_{ср} = \frac{Q_т - I_т''}{\vartheta_а - \vartheta_т''},\ кДж/(кг·К)\ [кДж/(м^3·К)],$$

где $I_т''$ - энтальпия продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива при температуре $\vartheta_т''$, избытке воздуха на выходе из топки $\alpha_т$ и объеме $V_{г.рц}^н$, рассчитанном по (4-26).

6-20. Адиабатическая температура горения $\vartheta_а$ °С, определяется по полезному тепловыделению в топке $Q_т$ при избытке воздуха $\alpha_т$.

Полезное тепловыделение в топке

$$Q_т = Q_р \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_ф + Q_в + \sum rI_{г.отб},\ кДж/кг(кДж/м^3), \qquad (6\text{-}28)$$

где $Q_р$ - располагаемое тепло топлива, кДж/кг (кДж/м³); вычисляется по п. 5-02;

q_3, q_4, q_6 - потери тепла от химической и механической неполноты сгорания топлива, с теплом шлака и охлаждающей воды, %;

$Q_ф$ - тепло, вносимое в топку паровым дутьем, кДж/кг; определяется по (5-21);

$Q_в$ - тепло, вносимое в топку воздухом, кДж/кг (кДж/м³)

$$Q_в = \beta_т' I_{0.в}'' + \left(\Delta\alpha_т + \Delta\alpha_{пл}\right) I_{0.прс},\ кДж/кг\ (кДж/м^3), \qquad (6\text{-}29)$$

здесь $\beta_т'$ находится по формуле (4-43), величины присосов в топке $\Delta\alpha_т$ и в пылеприготовительной системе $\Delta\alpha_{пл}$ определяются по п. 4-14 и таблице XVII. Энтальпии теоретически необходимого количества воздуха $I_{0.в}''$ при температуре за воздухоподогревателем и присасываемого воздуха $I_{0.прс}$ для типовых топлив принимаются по табл. XV и XVI.

$\sum rI_{г.отб}$ - тепло рециркулирующих газов, кДж/кг (кДж/м³). Учитывается в случае возврата в топку части газов, отобранных из газоходов котла, за котлом или из верхней части топки (п. 4-10).

Если рециркулирующие газы вводятся перед выходным сечением топки, то при тепловом расчете топочной камеры они не учитываются, а температура газов на входе в последующую поверхность нагрева $\vartheta_{г.рц}$ определяется по (4-28).

6-21. Количество тепла, воспринятого в топке на 1кг (1 м³) топлива

$$Q_л = \varphi\left(Q_т - I_т''\right),\ кДж/кг\ (кДж/м^3). \qquad (6\text{-}30)$$

6-22. Коэффициент тепловой эффективности экранов равен произведению углового коэффициента экрана x на коэффициент ζ, учитывающий тепловое сопротивление загрязнения или закрытие изоляцией

$$\psi = x\zeta. \qquad (6\text{-}31)$$

Если стены топки закрыты экранами с разными значениями коэффициента тепловой эффективности ψ или экраны покрывают часть поверхности стен, среднее значение коэффициента тепловой эффективности

$$\psi_{ср} = \frac{\sum \psi F_{ст}}{F_{ст}}. \qquad (6\text{-}32)$$

Для неэкранированных участков топочных стен принимается $\psi = 0$.

Угловой коэффициент экранов x определяется по п. 6-06.

Коэффициент ζ, учитывающий снижение тепловосприятия экрана при его загрязнении или закрытии его поверхности изоляцией, принимается по табл. 6-3.

Таблица 6-3

Тип экрана	Топливо	$\zeta = \frac{\psi}{x}$
Настенные гладкотрубные и мембранные цельносварные экраны в камерных топках	Газообразное	0,65
	Мазут	0,55
	Пыль твердых топлив:	0,45
	антрацитовый штыб, тощий уголь каменные[1] и бурые угли средней шлакующей способности (например, кузнецкий ГСШ)	0,45
	каменные и бурые угли высокой, березовский Канско- шлакующей способности (например, назаровский Ачинского месторождения)	0,35 - 0,40[2]
	фрезерный торф	0,45
	сланцы	0,25
Настенные гладкотрубные и плавниковые экраны в слоевых топках	Все топлива	0,60
Ошипованные экраны, покрытые огнеупорной массой	Все топлива	0,20
Экраны, закрытые шамотным кирпичом	Все топлива	0,10

[1] При сжигании экибастузского угля с тонким размолом ($R_{90} \le 15$ %) в котлах с $q_F \ge 3$ МВт/м^2 ζ= 0,40.
[2] Меньшее значение - для березовского угля.

Приведенные в табл. 6-3 значения ζ при сжигании пыли твердых топлив относятся к топочным камерам, оборудованным эффективно работающими средствами очистки экранов.

Для ошипованных экранов, покрытых огнеупорной массой, в топках с жидким шлакоудалением величина ζ рассчитывается в зависимости от температуры плавления шлака $t_{шл}$, °С

$$\zeta = 0{,}53 - 0{,}25 \cdot 10^{-3} t_{шл}. \qquad (6\text{-}33)$$

При отсутствии данных о температуре плавления шлака ее значение принимается на 50 °С ниже температуры жидкоплавкого состояния золы t_C.

Для гладкотрубных двусветных экранов и ширм (кроме ширм типа «щек»), расположенных в объеме топки, при сжигании твердых топлив величина ζ уменьшается на 0,1, а для цельносварных экранов и ширм на 0,05 по сравнению с ее значением для настенных экранов.

При попеременной работе котла на разных топливах или при сжигании смеси топлив коэффициент принимается по топливу, вызывающему большее загрязнение.

Для выходного окна топки, отделяющего топку от расположенной за ним поверхности нагрева, коэффициент $\zeta_{вых}$ определяется по формуле

$$\zeta_{вых} = \zeta\beta, \qquad (6\text{-}34)$$

где ζ - коэффициент; принимается по табл. 6-3 таким же, как для настенных экранов;

β - коэффициент, учитывающий взаимный теплообмен между топкой и поверхностью нагрева. При размещении за окном топки ширм коэффициент β принимается равным 0,6 при сжигании твердых топлив и 0,8 при сжигании мазута и газа. При размещении за окном фестона - β=0,9, котельного пучка - β=1,0.

При отсутствии непосредственно за окном поверхности нагрева $\zeta_{вых}$=0,5 .

6-23. Для расчета температуры газов в конце топки или для определения площади поверхности стен топочной камеры используются формулы:
- при расчете температуры газов в конце топки

$$\vartheta''_т = \frac{T_а}{1 + M\,\mathrm{B\tilde{u}}^{0,3}\left[\dfrac{5{,}67\cdot10^{-11}\,\psi_{ср}F_{ст}T_а^3}{\varphi B_р (Vc)_{ср}}\right]^{0,6}} - 273,\ °C; \qquad (6\text{-}35)$$

- при определении площади поверхности стен топочной камеры

$$F_{ст} = \frac{B_р Q_л \sqrt[3]{\dfrac{1}{M^2}\left(\dfrac{T_а}{T''_т}-1\right)^2}}{5{,}67\cdot10^{-11} M\,\psi_{ср}\,\mathrm{B\tilde{u}}^{0,3}\,T''_т T_а^3},\ м^2. \qquad (6\text{-}36)$$

6-24. Распределение тепловосприятия по высоте топочной камеры определяется «позонным» или «зональным»[1] расчетом топки. В случаях, когда такой расчет не производится, удельное тепловосприятие отдельной зоны можно оценить по следующей зависимости

$$q_л = y_в \frac{B_р\,Q_л\,\psi}{F_{ст}\,\psi_{ср}},\ кВт/м^2. \qquad (6\text{-}37)$$

Ориентировочные значения коэффициента распределения тепловосприятия по высоте топки $y_в$ определяются в зависимости от относительной высоты $h/H_т$ зоны по табл. 8-3 или 8-4. Разброс данных, использованных для формирования этих таблиц, составлял до ± 20%.

Сумма тепловосприятий отдельных зон топки должна совпадать с величиной тепловосприятия топочной камеры $Q_л$ по формуле (6-30).

[1] Отсылка к позонному расчету представляет возможность использования также зонального расчета, что в дальнейшем не оговаривается.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

РАСЧЕТ КОНВЕКТИВНЫХ И ШИРМОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

7-А. Основные уравнения

Расчет конвективных и ширмовых поверхностей нагрева базируется на совместном решении системы уравнений теплового баланса и уравнения теплообмена.

7-01. Уравнение теплообмена

$$Q = \frac{kH\Delta t}{B_р}\cdot 10^{-3},\ \text{кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (7\text{-}01)$$

где Q - тепло, воспринятое поверхностью конвекцией и межтрубным излучением, отнесенное к 1 кг (1 м^3) топлива, кДж/кг (кДж/м^3);

k - коэффициент теплопередачи, отнесенный к расчетной поверхности нагрева, Вт/(м^2·К);

Δt - температурный напор, К;

$B_р$ - расчетный расход топлива, кг/с (м^3/с);

H - расчетная поверхность нагрева, м^2.

Для ширмовых поверхностей, включая плавниковые и мембранные, расчетная поверхность принимается равной удвоенной площади продольного осевого сечения ширмы, ограниченной наружными образующими крайних труб или плавников. Для ширм, выполненных из гладких труб, поверхность умножается на угловой коэффициент, определяемый в зависимости от σ_2 по кривой 5 номограммы 1а, или при $1{,}0 \le \sigma_2 \le 1{,}6$ по формуле $x = 1\text{-}0{,}45(\sigma_2 - 1)$.

Ширмовые поверхности отличаются от коридорных пучков величиной поперечного σ_1 и продольного σ_2 относительных шагов: при $\sigma_1 \ge 3$ и $\sigma_2 \le 1{,}5$ для гладкотрубных ширм и при $\sigma_1 \ge 3$ и $\sigma_2 \le 2{,}0$ для мембранных поверхность нагрева рассчитывается как ширмовая.

В гладкотрубных конвективных пучках расчетная поверхность принимается равной полной поверхности труб с наружной (газовой) стороны.

Расчетная поверхность конвективных пучков: мембранных, из плавниковых труб, труб с поперечными ребрами, мембранно-лепестковых и лепестковых - принимается равной полной поверхности оребренных труб с наружной стороны. Поверхность оребренных труб складывается из поверхности ребер (проставок, лепестков) и межреберных участков труб (рис. 7.1).

Расчетная поверхность нагрева ширмоконвективных пучков (рис. 7.2) складывается из поверхности ширмовых элементов, определяемой как для ширм, и поверхности конвективных элементов, определяемой по полной поверхности змеевиков.

Поверхность нагрева рекуперативного воздухоподогревателя (трубчатого, пластинчатого) и воздуховоздушного теплообменника находится как средняя по газовой и воздушной сторонам.

Поверхность нагрева регенеративного воздухоподогревателя определяется как полная двусторонняя поверхность листов, омываемых газами и воздухом.

7-02. В уравнении теплового баланса количество тепла, отданное дымовыми газами, приравнивается количеству тепла, воспринятому обогреваемой средой.

Тепло, отданное газами рассчитываемой поверхности

$$Q = \varphi(I' - I'' + \Delta\alpha I_{0.прс}) - Q_{доп},\ \text{кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (7\text{-}02)$$

где φ - коэффициент сохранения тепла; определяется по (5-11);

I', I'' - энтальпии газов на входе в поверхность нагрева и выходе из нее, кДж/кг (кДж/м^3);

$\Delta\alpha I_{0.прс}$ - количество тепла, вносимого присасываемым воздухом, кДж/кг (кДж/м^3);

$\Delta\alpha$ - присос воздуха в газоход. В регенеративном воздухоподогревателе присос распределяется поровну между холодной и горячей частями;

$I_{0.прс}$ - энтальпия теоретически необходимого количества присасываемого воздуха, кДж/кг (кДж/м^3). Определяется для всех газоходов по температуре присасываемого воздуха $t_{прс}$.

Для воздухоподогревателя $I_{0.прс}$ вычисляется по средней температуре воздуха

$$t_{прс} = 0{,}5(t'_{вп} + t''_{вп}).$$

При расчете регенеративного воздухоподогревателя по частям $I_{0.прс}$ для первой ступени определяется по температуре холодного воздуха, для второй - по температуре горячего;

$Q_{доп}$ - тепловосприятие дополнительной поверхности, кДж/кг (кДж/м^3), включенной параллельно или последовательно по ходу газов с рассчитываемой поверхностью.

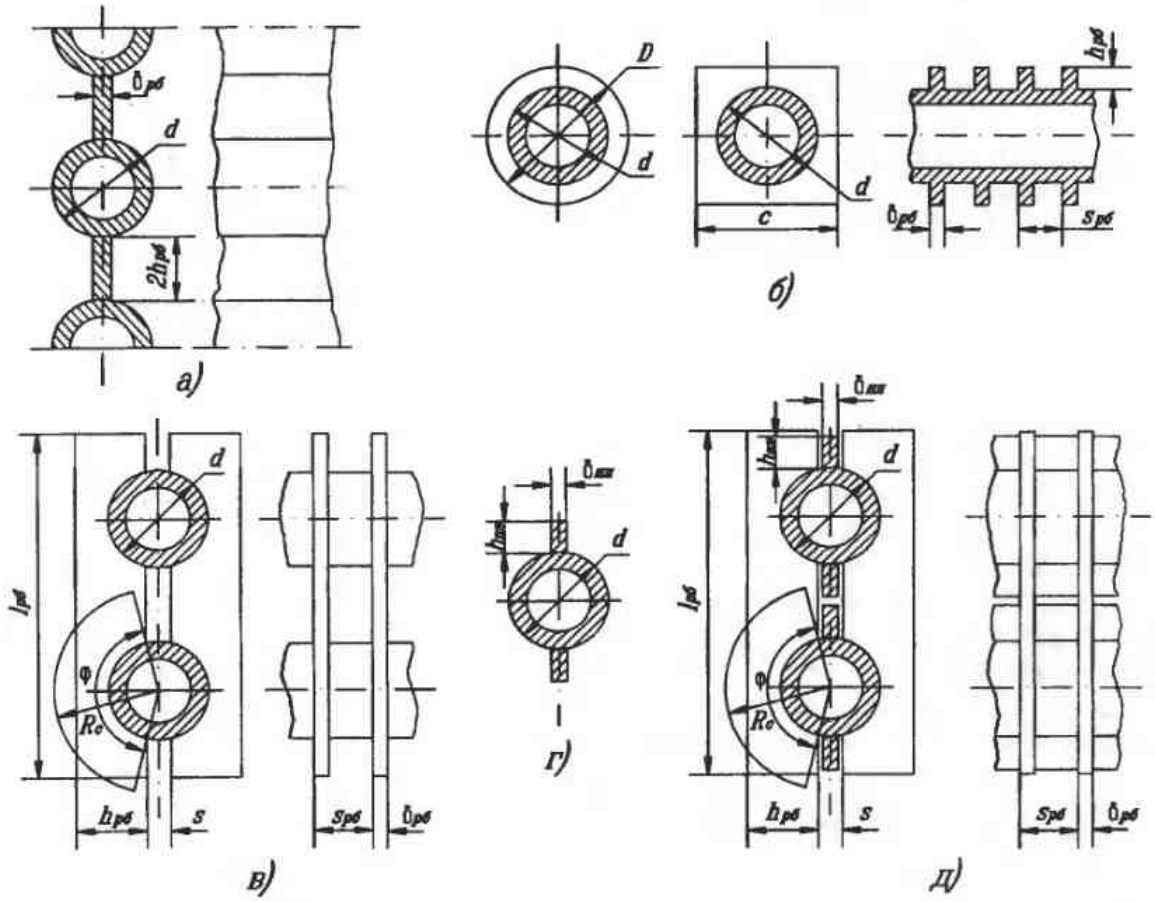


Рис. 7.1. К определению геометрических характеристик оребренных пучков труб.
а - мембранная поверхность; *б* - поверхность с поперечными ребрами; *в* - лепестковая поверхность; *г* - плавниковая поверхность; *д* - мембранно-лепестковая поверхность.

7-03. Тепло, воспринятое обогреваемой средой:

- для пакета ширмового и конвективного перегревателя, получающего излучение из топки

$$Q = \frac{D}{B_р}(i'' - i') - Q_л, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}; \qquad (7\text{-}03)$$

- для пакета конвективного перегревателя, экономайзера и переходной зоны прямоточного котла, не получающего излучение из топки

$$Q = \frac{D}{B_р}(i'' - i'), \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (7\text{-}04)$$

где D - расход пара (воды) через поверхность, кг/с;

i'', i' - энтальпии пара (воды) на выходе из поверхности нагрева и входе в нее, кДж/кг.

Перепад энтальпий пара в пароперегревателе следует принимать с учетом тепловосприятия пароохладителя (гл. 9).

При расчете котельных пучков с постоянной температурой внутренней среды уравнение тепловосприятия обогреваемой среды не составляется;

- для воздухоподогревателя без промежуточных отборов и подводов воздуха

$$Q = \left(\beta'_т + \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2} + \beta_{рц} + \beta_{изб}\right)\left(I''_{0.вп} - I'_{0.вп}\right),\ кДж/кг\ (кДж/м^3),\ (7\text{-}05)$$

где $\beta'_т, \beta_{рц}, \beta_{изб}$ - отношения количества воздуха, подаваемого в топку из воздухоподогревателя, рециркулирующего в воздухоподогревателе и избыточного (отдаваемого на «сторону») к теоретически необходимому;

$I'_{0.вп}, I''_{0.вп}$ - энтальпии воздуха, теоретически необходимого для горения топлива, при температурах на входе в воздухоподогреватель и выходе из него, кДж/кг (кДж/м^3);

$\Delta\alpha_{вп}$ - присос воздуха в воздухоподогреватель, принимаемый равным перетечке с воздушной стороны.

При отборе или подводе воздуха между ступенями каждая ступень рассчитывается по своему расходу воздуха.

Если через воздухоподогреватель проходит часть воздуха (наличие шунта), в (7-05) подставляется значение $\beta'_т$ за вычетом доли воздуха, идущего на шунт. При шунтировании воздухоподогревателя по воздуху или газу величина присоса $\Delta\alpha_{вп}$ сохраняется неизменной.

7-04. Тепло, полученное излучением из топки поверхностью нагрева, примыкающей к выходному окну топки

$$Q_л = \frac{q_{л.в} F_{вых} \sum x_р (1-a)}{B_р},\ кДж/кг\ (кДж/м^3),\qquad (7\text{-}06)$$

где $q_{л.в}$ - тепловая нагрузка поверхности в районе выходного окна топки, кВт/м^2; определяется позонным расчетом, а при его отсутствии - по (6-37),

$F_{вых}$ - площадь выходного окна топки, м^2;

a - степень черноты объема ширм; определяется по п. 7-35. Член $(1-a)$ вводится только для ширм;

$\sum x_р$ - сумма угловых коэффициентов в поверхности; определяется по таблицам 7-1 и 7-2.

Тепло, полученное излучением из топки поверхностями нагрева, расположенными за ширмой, примыкающей к выходному окну топки

$$Q_л = \frac{q_{л.в} F_{вых}\left[1 - \sum x_р (1-a)\right]}{B_р},\ кДж/кг\ (кДж/м^3).\qquad (7\text{-}07)$$

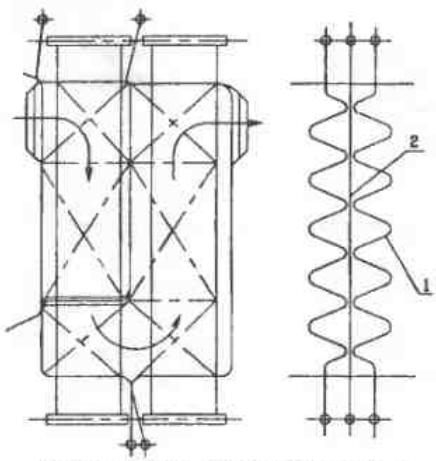


Рис. 7.2. Ширмоконвективная поверхность. 1 - конвективный элемент; 2 - ширмовый элемент.

7-05. Если рассчитываемая поверхность омывается неполным количеством продуктов сгорания (параллельное включение нескольких элементов, газовое регулирование перегрева, обходные газоходы при отсутствии плотных шиберов и т.п.), уравнение (7-02) заменяется следующим

$$Q = \varphi(I' - I'' + \Delta\alpha I_{0.прс})g - Q_{доп},$$

кДж/кг (кДж/м^3), (7-08)

где g - массовая доля газов, проходящих через рассчитываемую поверхность нагрева.

При параллельном включении нескольких элементов или открытых обходных боровах g определяется по условию равенства сопротивлений параллельных газоходов.

При двойных (плотных) закрытых отключающих шиберах в обходных боровах g принимается равной 0,95 , при одинарных - 0,9 .

При объединении потоков дымовых газов энтальпия смеси определяется по уравнению смешения

$$I_{см} = I_1(1-g) + I_2 g,\ кДж/кг\ (кДж/м^3).\qquad (7\text{-}09)$$

Таблица 7-1

Угловые коэффициенты x_p и их суммы Σx_p для z-го ряда ширмовых поверхностей нагрева

Номер ряда, z		Значение σ_1											
		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0
1	x_p	0,490	0,280	0,193	0,150	0,123	0,104	0,089	0,078	0,062	0,053	0,046	0,040
	Σx_p	0,490	0,280	0,193	0,150	0,123	0,104	0,089	0,078	0,062	0,053	0,046	0,040
2	x_p	0,192	0,155	0,122	0,100	0,084	0,071	0,061	0,054	0,043	0,037	0,032	0,029
	Σx_p	0,682	0,435	0,315	0,250	0,207	0,175	0,150	0,132	0,105	0,090	0,078	0,069
3	x_p	0,120	0,122	0,104	0,088	0,076	0,065	0,057	0,051	0,041	0,036	0,031	0,028
	Σx_p	0,802	0,557	0,418	0,338	0,283	0,240	0,207	0,183	0,146	0,126	0,109	0,097
4	x_p	0,075	0,095	0,088	0,078	0,069	0,060	0,053	0,048	0,039	0,034	0,030	0,027
	Σx_p	0,876	0,652	0,506	0,416	0,352	0,300	0,260	0,231	0,185	0,160	0,139	0,124
5	x_p		0,075	0,075	0,069	0,062	0,055	0,050	0,045	0,037	0,033	0,029	0,026
	Σx_p		0,727	0,581	0,485	0,414	0,356	0,310	0,276	0,222	0,192	0,168	0,151
6	x_p		0,059	0,063	0,061	0,056	0,051	0,046	0,042	0,036	0,032	0,028	0,026
	Σx_p		0,786	0,644	0,545	0,470	0,407	0,356	0,318	0,258	0,224	0,196	0,176
7	x_p		0,046	0,054	0,053	0,051	0,047	0,043	0,040	0,034	0,030	0,027	0,025
	Σx_p		0,832	0,698	0,599	0,521	0,454	0,399	0,358	0,292	0,254	0,223	0,201
8	x_p		0,036	0,046	0,047	0,046	0,043	0,040	0,038	0,032	0,029	0,026	0,024
	Σx_p		0,868	0,744	0,646	0,566	0,497	0,439	0,396	0,325	0,284	0,249	0,226
9	x_p			0,039	0,042	0,042	0,040	0,038	0,035	0,031	0,028	0,025	0,023
	Σx_p			0,782	0,688	0,608	0,537	0,477	0,431	0,356	0,312	0,274	0,249
10	x_p			0,033	0,037	0,038	0,037	0,035	0,033	0,029	0,027	0,024	0,023
	Σx_p			0,815	0,724	0,646	0,574	0,512	0,464	0,385	0,338	0,298	0,272
12	x_p			0,024	0,029	0,031	0,031	0,030	0,029	0,027	0,025	0,023	0,021
	Σx_p			0,867	0,785	0,710	0,639	0,575	0,525	0,440	0,389	0,344	0,315
14	x_p				0,022	0,025	0,026	0,026	0,026	0,024	0,023	0,021	0,020
	Σx_p				0,833	0,763	0,694	0,630	0,579	0,490	0,436	0,388	0,356
16	x_p				0,017	0,021	0,022	0,023	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019
	Σx_p				0,870	0,806	0,740	0,678	0,627	0,536	0,479	0,428	0,394
18	x_p				0,013	0,017	0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,018	0,018
	Σx_p				0,899	0,842	0,780	0,720	0,670	0,578	0,519	0,466	0,430
20	x_p					0,014	0,016	0,018	0,018	0,018	0,018	0,017	0,017
	Σx_p					0,870	0,813	0,756	0,707	0,615	0,556	0,501	0,464
25	x_p						0,011	0,012	0,013	0,015	0,015	0,015	0,014
	Σx_p						0,876	0,827	0,783	0,696	0,636	0,579	0,540
30	x_p							0,009	0,010	0,012	0,012	0,012	0,012
	Σx_p							0,878	0,840	0,759	0,702	0,645	0,606
35	x_p									0,009	0,010	0,010	0,010
	Σx_p									0,810	0,756	0,701	0,662
40	x_p									0,007	0,008	0,009	0,009
	Σx_p									0,850	0,800	0,748	0,710
45	x_p										0,006	0,007	0,008
	Σx_p										0,836	0,787	0,751
50	x_p											0,006	0,007
	Σx_p											0,821	0,786
55	x_p											0,005	0,006
	Σx_p											0,849	0,817
60	x_p												0,005
	Σx_p												0,843

Примечания. 1. Номер z-го ряда отсчитывается от соответствующего источника излучения.

2. Промежуточные значения x_p и Σx_p находятся линейной интерполяцией.

Таблица 7-2

Угловые коэффициенты x_p и их суммы Σx_p для z -го ряда конвективных поверхностей нагрева.

Номер ряда, z		Значение σ_1															
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
1	x_p	1,000	0,920	0,810	0,730	0,670	0,630	0,520	0,450	0,390	0,350	0,315	0,290	0,240	0,217	0,191	0,167	0,147
	Σx_p	1,000	0,920	0,810	0,730	0,670	0,630	0,520	0,450	0,390	0,350	0,315	0,290	0,240	0,217	0,191	0,167	0,147
2	x_p			0,154	0,197	0,221	0,233	0,250	0,248	0,238	0,228	0,216	0,206	0,182	0,170	0,155	0,139	0,125
	Σx_p			0,964	0,927	0,891	0,863	0,770	0,697	0,628	0,577	0,531	0,496	0,422	0,387	0,346	0,306	0,272
3	x_p						0,086	0,120	0,136	0,145	0,148	0,148	0,146	0,139	0,133	0,125	0,116	0,107
	Σx_p						0,949	0,889	0,834	0,773	0,725	0,679	0,642	0,561	0,520	0,471	0,422	0,379
4	x_p							0,058	0,075	0,089	0,096	0,101	0,104	0,105	0,104	0,101	0,097	0,091
	Σx_p							0,947	0,908	0,862	0,821	0,780	0,746	0,666	0,624	0,572	0,519	0,471
5	x_p										0,062	0,069	0,074	0,080	0,082	0,082	0,080	0,078
	Σx_p										0,884	0,849	0,820	0,746	0,706	0,653	0,599	0,548
6	x_p											0,048	0,052	0,061	0,064	0,066	0,067	0,066
	Σx_p											0,897	0,872	0,807	0,770	0,720	0,666	0,615
7	x_p													0,046	0,050	0,054	0,056	0,057
	Σx_p													0,854	0,820	0,773	0,722	0,671
8	x_p													0,035	0,039	0,043	0,046	0,048
	Σx_p													0,889	0,859	0,817	0,768	0,720
9	x_p														0,031	0,035	0,039	0,041
	Σx_p														0,889	0,852	0,807	0,761
10	x_p															0,028	0,032	0,035
	Σx_p															0,880	0,839	0,796
12	x_p																0,022	0,026
	Σx_p																0,888	0,852
14	x_p																	0,019
	Σx_p																	0,892

Примечания. 1. Номер z-го ряда отсчитывается от соответствующего источника излучения.
2. Промежуточные значения x_p и Σx_p находятся линейной интерполяцией.

7-Б. Коэффициент теплопередачи

а) Основные положения

7-06. Коэффициент теплопередачи для труб поверхностей нагрева принимается с достаточной точностью как для многослойной плоской стенки

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_з}{\lambda_з} + \frac{\delta_м}{\lambda_м} + \frac{\delta_{в.о}}{\lambda_{в.о}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}, \quad (7\text{-}10)$$

где α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи от греющей среды к стенке и от стенки к обогреваемой среде, Вт/(м²·К). Для всех типов поверхностей с наружным оребрением α_1 заменяется приведенным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{1\,пр}$. Особенности расчета α_1 и $\alpha_{1\,пр}$ приведены в п.п. 7-07 - 7-09. Расчет α_2 производится по п.п. 7-30 и 8-17;

$\delta_м$, $\lambda_м$ - толщина, м, и коэффициент теплопроводности металла стенки трубы, Вт/(м·К);

$\varepsilon = \delta_з / \lambda_з$ - тепловое сопротивление загрязняющего слоя, называемое «коэффициентом загрязнения», м²·К/Вт;

$\delta_{в.о}$, $\lambda_{в.о}$ - толщина, м, и коэффициент теплопроводности слоя отложений на внутренней поверхности труб, Вт/(м·К).

Если одна или обе теплообменивающиеся среды представляют собой дымовой газ или воздух, то термическое сопротивление на газовой и воздушной сторонах гладкотрубной поверхности нагрева ($1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$) существенно превышает термическое сопротивление металла труб. Последним в этом случае пренебрегают ($\delta_м / \lambda_м = 0$). При расчете паропаровых теплообменников термическое сопротивление металла труб учитывается.

При нормальной эксплуатации котла внутренние отложения не должны вызывать существенного роста термического сопротивления трубы, поэтому в тепловом расчете они не учитываются ($\delta_{в.о} / \lambda_{в.о} = 0$).

Тепловое сопротивление загрязнения зависит от большого количества факторов: рода топлива, скорости газов, диаметра труб и их расположения, крупности золы и др. Из-за отсутствия в ряде случаев этих данных применяются два метода оценки загрязнения: с помощью коэффициента загрязнения ε и коэффициента эффективности ψ, представляющего собой отношение коэффициентов теплопередачи загрязненных и чистых труб.

Значения коэффициентов загрязнения и эффективности приведены в разделе 7-Б,г.

7-07. Коэффициент теплопередачи в ширмовых поверхностях, получающих прямое излучение из топки:

- гладкотрубные ширмы

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \left(1 + \frac{Q_л}{Q}\right)\left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}\right)\alpha_1}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}; \quad (7\text{-}11)$$

- мембранные ширмы

$$k = \frac{\alpha_{1пр}}{1 + \left(1 + \frac{Q_л}{Q}\right)\left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}\frac{H}{H_{вн}}\right)\alpha_{1пр}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \quad (7\text{-}12)$$

Множитель $\left(1 + Q_л / Q\right)$ учитывает тепло, воспринятое из топки поверхностью ширм.

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, отнесенный к расчетной поверхности H, для гладкотрубных ширм определяется по (7-13), а приведенный для мембранных - по (7-14).

$$\alpha_1 = \xi\left(\alpha_к \frac{\pi}{2\sigma_2 x} + \alpha_л\right), \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}; \quad (7\text{-}13)$$

$$\alpha_{1пр} = \xi\left[\alpha_к\left(\frac{0{,}57}{\sigma_2} + 1\right) + \alpha_л\right], \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \quad (7\text{-}14)$$

где $\alpha_к$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией, отнесенный к полной поверхности ширм определяется по разделу 7-Б,б;

ξ - коэффициент использования, учитывающий уменьшение тепловосприятия поверхности нагрева вследствие неравномерного омывания ее газами, частичного перетекания газов помимо нее и образования застойных зон. Для ширм величина ξ приведена в разделе 7-Б,г;

x - угловой коэффициент гладкотрубных ширм; определяется по кривой 5 номограммы 1а;

Q - тепло, передаваемое конвекцией и межтрубным излучением газов, кДж/кг (кДж/м^3); находится по уравнению (7-01) или (7-02);

$Q_л$ - тепло, передаваемое излучением из топки, кДж/кг (кДж/м^3); определяется по (7-06);

ε - коэффициент загрязнения, м^2·К/Вт; определяется по разделу 7-Б,г;

$H / H_{вн}$ - отношение полной поверхности оребренной стороны к полной поверхности внутренней стороны труб.

7-08. Коэффициент теплопередачи в конвективных гладкотрубных пучках и фестонах

- получающих прямое излучение из топки

$$k = \frac{\psi\alpha_1}{1+\left(1+\dfrac{Q_л}{Q}\right)\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}, \qquad (7\text{-}15а)$$

- не получающих прямое излучение из топки

$$k = \frac{\psi\alpha_1}{1+\dfrac{\alpha_1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \qquad (7\text{-}15б)$$

где ψ - коэффициент эффективности; определяется по разделу 7-Б,г.

Для гладкотрубных экономайзеров и испарительных поверхностей, а также поверхностей нагрева котлов СКД с i < 1400 кДж/кг тепловым сопротивлением с внутренней стороны труб пренебрегают и коэффициент теплопередачи определяется по формуле

$$k = \psi\alpha_1, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \qquad (7\text{-}15в)$$

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_к + \alpha_л), \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}, \qquad (7\text{-}16)$$

где ξ - коэффициент использования; для поперечно омываемых пучков труб принимается ξ=1, для сложно омываемых пучков величина ξ приведена в п. 7-41, для ширмоконвективных поверхностей нагрева - в п. 7-31;

$\alpha_к$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м^2·К); определяется по разделу 7-Б,б;

$\alpha_л$ - коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м^2·К); определяется по разделу 7-Б,в.

7-09. Коэффициент теплопередачи в конвективных пучках и фестонах из труб мембранных, плавниковых, мембранно-лепестковых, лепестковых и с поперечными ребрами

- получающих прямое излучение из топки

$$k = \frac{\psi\alpha_{1пр}}{1+\left(1+\dfrac{Q_л}{Q}\right)\dfrac{\alpha_{1пр}}{\alpha_2}\dfrac{H}{H_{вн}}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}; \qquad (7\text{-}17а)$$

- не получающих прямое излучение из топки

$$k = \frac{\psi\alpha_{1пр}}{1+\dfrac{\alpha_{1пр}}{\alpha_2}\dfrac{H}{H_{вн}}}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)} \qquad (7\text{-}17б)$$

7-09.1. Приведенный коэффициент теплоотдачи для мембранных и плавниковых пучков труб (рис. 7.1а)

$$\alpha_{1пр} = \frac{H_{тр}}{H}\left(\varphi_{тр}\alpha_к + \alpha_л\right) + \frac{H_{рб}}{H}E\left(\varphi_{рб}\alpha_к + \alpha_л\right),\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}18)$$

где $H_{тр}$ - поверхность труб, не занятая ребрами, включая гладкотрубные участки, м^2;

$H_{рб}$ - поверхность ребер (проставок), м^2;

$H=H_{тр}+H_{рб}$ - полная поверхность оребренной стороны труб, м^2 .

$\varphi_{тр}$, $\varphi_{рб}$ - отношения коэффициентов теплоотдачи по трубе и ребру к среднему в пучке.

При поперечном омывании определяются следующим образом:

$\varphi_{тр}$=1,08;

- для коридорных пучков

$$\varphi_{рб} = 1 - \frac{0{,}12}{\sigma_2 - 1}, \qquad (7\text{-}19а)$$

- для шахматных пучков при $1{,}4 \le \sigma_1 \le 5{,}0$ и $0{,}75 \le \sigma_2 \le 1{,}52$

$$\varphi_{рб} = 1 - \frac{0{,}05\left(\sigma_1\sigma_2^{0{,}5}\right)^{0{,}8} - 0{,}03}{2\sigma_2 - 1}. \qquad (7\text{-}19б)$$

По формуле (7-19б) построен график (рис. 7.3).

При $\sigma_1 > 5{,}0$ значение $\varphi_{рб}$ определяется как для коридорных пучков по формуле (7-19а), при этом принимается $\sigma_2 = 2\sigma_{2шахм}$.

При продольном омывании значения $\varphi_{тр}$ и $\varphi_{рб}$ принимаются равными 1.

E - коэффициент эффективности ребра; определяется по номограмме 6 или по формуле

$$E = \frac{\text{th}\left(mh_{рб}\right)}{mh_{рб}}, \qquad (7\text{-}20)$$

здесь $m = \sqrt{\dfrac{2\left(\varphi_{рб}\alpha_к + \alpha_л\right)}{\delta_{рб}\lambda_{рб}}}$, 1/м;

$h_{рб}$ - высота ребра (плавника) или полуширина проставки, м;

$\delta_{рб}$ - средняя толщина ребра (плавника, проставки), м;

$\lambda_{рб}$ - коэффициент теплопроводности металла ребер (плавников, проставок), Вт/(м·К). Определяется при температуре $t_{рб} = t + 100$, где t - средняя температура среды в трубах, °С.

7.09.2. Приведенный коэффициент теплоотдачи для пучков труб с поперечными круглыми и квадратными ребрами, в том числе со спирально-ленточным оребрением (рис. 7.1б), определяется без учета межтрубного излучения из-за малой толщины излучающего слоя пучков

$$\alpha_{1пр} = \left(\frac{H_{тр}}{H} + \frac{H_{рб}}{H}E\mu\varphi_E\right)\alpha_к, \ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}21)$$

где $\dfrac{H_{тр}}{H} = \dfrac{1}{\psi_р}\left(1 - \dfrac{\delta_{рб}}{s_{рб}}\right)$;

$$\frac{H_{рб}}{H} = 1 - \frac{H_{тр}}{H},$$

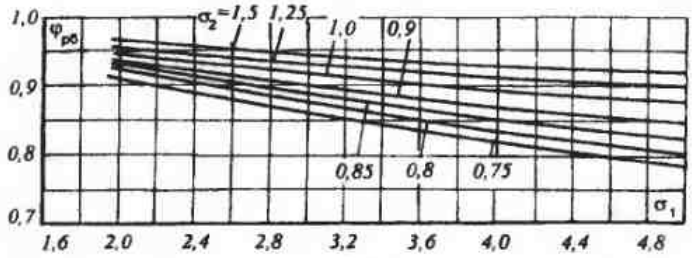


Рис. 7.3. Отношение коэффициентов теплоотдачи по ребру к среднему в пучке

здесь $\psi_р$ - коэффициент оребрения, равный отношению полной поверхности пучка к поверхности несущих труб на оребренном участке:

- круглые ребра, в том числе спирально-ленточное оребрение

$$\psi_р = \frac{1}{2ds_{рб}}\left(D^2 - d^2 + 2D\delta_{рб}\right) + 1 - \frac{\delta_{рб}}{s_{рб}}; \qquad (7\text{-}22а)$$

- квадратные ребра

$$\psi_р = \frac{2\left(C^2 - 0{,}785d^2 + 2C\delta_{рб}\right)}{\pi ds_{рб}} + 1 - \frac{\delta_{рб}}{s_{рб}}; \qquad (7\text{-}22б)$$

E - коэффициент эффективности ребра; определяется по номограмме 6 в зависимости от параметров $(mh_{рб})$ и D/d,

здесь $m = \sqrt{\frac{2\alpha_к}{\delta_{рб}\lambda_{рб}}}$, 1/м, (7-23)

$\delta_{рб}$, $h_{рб}$ - средняя толщина и высота ребра, м; при квадратных ребрах $h_{рб}$=0,5(1,13C-d)

d - диаметр несущей трубы, м;

C - сторона квадратного ребра, м;

D - диаметр ребра, м. При квадратных ребрах D=1,13C;

$s_{рб}$ - шаг ребер, м;

$\lambda_{рб}$ - коэффициент теплопроводности металла ребер, Вт/(м·К);

μ - коэффициент, учитывающий влияние уширения литых ребер к основанию.

Определяется по номограмме 6 в зависимости от параметров $(mh_{рб})$ и $\sqrt{\delta_к / \delta_с}$

($\delta_с$ и $\delta_к$ - толщина ребра у вершины и основания);

φ_E - коэффициент, учитывающий неравномерность теплоотдачи по поверхности ребра

$$\varphi_E = 1 - 0{,}058\,mh_{рб}.$$

7-09.3. Приведенный коэффициент теплоотдачи для пучков труб с лепестковым оребрением (рис. 7.1в) рассчитывается по формуле (7-21).

Коэффициент эффективности ребра E определяется как для круглых ребер (номограмма 6). При этом $D = 2R_с$ и $h_{рб} = R_с - 0{,}5d$.

Радиус ребра-сектора, эквивалентный по площади лепестковому ребру

$$R_с = \sqrt{\frac{360}{\varphi\pi}\left(\frac{l_{рб}}{2}h_{рб} + \frac{d^2}{8}\sin\varphi\right)}, \text{ м},$$

где φ - угол охвата ребром несущей трубы, град.

Значения коэффициента φ_E, зависящие от длины, высоты и зазора между лепестками, отнесенными к диаметру трубы, принимаются по таблице 7-3.

Поверхности ребер (лепестков), участков труб, не занятых ребрами, и полная поверхность оребренной стороны труб рассчитываются по формулам:

$$H_{рб} = 2\frac{l}{s_{рб}}n\left[l_{рб}h_{рб} - \frac{\varphi}{360}\frac{\pi d^2}{2} + \frac{d^2}{4}\sin\varphi + \left(l_{рб} + h_{рб} - d\sin\frac{\varphi}{2}\right)\delta_{рб}\right], \text{ м}^2; \qquad (7\text{-}24а)$$

$$H_{тр} = \pi dln\left(1 - \frac{\delta_{рб}}{s_{рб}}\frac{\varphi}{180}\right), \text{ м}^2; \qquad (7\text{-}24б)$$

$$H = H_{рб} + H_{тр}, \text{ м}^2, \qquad (7\text{-}24в)$$

где l - длина оребренной трубы, м^2;

n - число труб в поверхности.

Коэффициент оребрения

$$\psi_р = \frac{H}{H_н}, \qquad (7\text{-}24г)$$

где $H_н = \pi d l n$ - поверхность несущих труб, м^2.

Таблица 7-3

$l_{рб}/d$	$h_{рб}/d$	Коэффициент φ_E для лепесткового и мембранно-лепесткового оребрения труб			
		s/d			
		0,2	0,26	0,34	0,4
3,5	0,75	1,007	1,011	1,017	1,023
3,5	1,0	1,007	1,012	1,021	1,030
3,5	1,25	0,994	1,001	1,013	1,025
3,5	1,5	0,967	0,977	0,993	1,007
5,0	0,75	0,967	0,978	0,993	1,005
5,0	1,0	1,009	1,018	1,034	1,047
5,0	1,25	1,026	1,036	1,053	1,068
5,0	1,5	1,019	1,031	1,051	1,068
6,5	0,75	0,924	0,940	0,961	0,978
6,5	1,0	0,996	1,009	1,029	1,046
6,5	1,25	1,035	1,048	1,068	1,086
6,5	1,5	1,042	1,056	1,078	1,097
8,0	0,75	0,878	0,896	0,921	0,942
8,0	1,0	0,967	0,983	1,008	1,028
8,0	1,25	1,019	1,035	1,059	1,079
8,0	1,5	1,035	1,051	1,075	1,096

7-09.4. Приведенный коэффициент теплоотдачи для пучков труб с мембранно-лепестковым оребрением (рис. 7.1г)

$$\alpha_{1пр} = \left(\frac{H_{рб}}{H} E \varphi_E + \frac{H_{пл}}{H} E_{пл} + \frac{H_{тр}}{H} \right) \alpha_к, \ Вт/(м^2 \cdot К). \qquad (7\text{-}25)$$

Коэффициент эффективности поперечного ребра (лепестка) E и поправочный коэффициент φ_E рассчитываются так же, как для лепестковой поверхности.

Коэффициент эффективности мембраны (плавника)

$$E_{пл} = \frac{\text{th}(m h_{пл})}{m h_{пл}},$$

где $m = \sqrt{\frac{2\alpha_к}{\delta_{пл} \lambda_{пл}}}$, 1/м;

$h_{пл}$ - половина ширины мембраны или высота плавника, м.

$H_{рб}$ - рассчитывается по формуле (7-24а);

$$H_{пл} = 4 h_{пл} l n, \ м^2; \qquad H_{тр} = \pi d l n \left(1 - \frac{\delta_{рб}}{s_{рб}} \frac{\varphi}{180} \right) - 2\delta_{пл} l n, \ м^2; \qquad H = H_{рб} + H_{пл} + H_{тр}, \ м^2$$

Коэффициент оребрения определяется по формуле (7-24г).

7-10. Для стандартных чугунных ребристых экономайзеров коэффициент теплопередачи определяется по номограмме 5 по скорости и температуре газов. Там же приведены рекомендации по учету загрязнений при различных средствах очистки.

7-11. При смешанном поперечно-продольном омывании гладкотрубных, плавниковых и мембранных конвективных пучков коэффициенты теплопередачи определяются раздельно для поперечно и продольно омываемых участков по средней скорости газов на каждом из них.

Коэффициенты теплопередачи усредняются по формуле

$$k = \frac{k_{\text{пол}} H_{\text{пол}} + k_{\text{пр}} H_{\text{пр}}}{H_{\text{пол}} + H_{\text{пр}}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \quad (7\text{-}26)$$

7-12. Трубчатые и пластинчатые воздухоподогреватели рассчитываются с использованием коэффициента эффективности ψ, учитывающего влияние загрязнения поверхности, неполноты ее омывания газами и воздухом, перетоков воздуха. Коэффициенты теплопередачи таких воздухоподогревателей определяются по (7-15б).

7-13. Коэффициент теплопередачи набивки вращающегося регенеративного воздухоподогревателя, отнесенный к его полной поверхности нагрева

$$k = \frac{\psi \Pi}{\frac{1}{\alpha_1 x_1} + \frac{1}{\alpha_2 x_2}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \quad (7\text{-}27)$$

где $x_1 = \frac{H_г}{H} = \frac{F_г}{F}$ - отношение поверхности нагрева, омываемой газами, или живого сечения для прохода газов (без учета поверхности и сечения под плитами радиальных уплотнений) к полной поверхности или соответственно полному сечению воздухоподогревателя;

$x_2 = \frac{H_в}{H} = \frac{F_в}{F}$ - аналогично для воздушной стороны;

α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке и от стенки к воздуху, Вт/(м^2·К); определяются по разделу 7-Б,б;

Π - коэффициент, учитывающий влияние нестационарности теплообмена. Для регенеративных воздухоподогревателей с металлической пластинчатой и керамической трубчатой набивкой толщиной δ = 0,6 - 2,0 мм коэффициент Π в зависимости от скорости вращения ротора составляет:

n	об/мин	0,5	1,0	1,5
Π	—	0,85	0,97	1,0

б) Коэффициент теплоотдачи конвекцией

7-14. Коэффициент теплоотдачи конвекцией зависит от скорости и температуры потока, определяющего линейного размера канала, вида поверхности (гладкая, волнистая ребристая), расположения труб в пучке и характера его омывания (продольное, поперечное, косое), физических свойств омывающей среды и в отдельных случаях от температуры стенки.

7-15. Расчетная скорость дымовых газов[1]

$$w_г = \frac{B_р V_г^н (\vartheta + 273)}{F_г 273}, \text{ м/с}, \quad (7\text{-}28а)$$

где $F_г$ - площадь живого сечения для прохода газов, м^2;

$B_р$ - расчетный расход топлива, кг/с (м^3/с);

$V_г^н$ - объем газов на 1 кг (1 м^3) топлива. Определяется по среднему избытку воздуха в поверхности при нормальных условиях, м^3/кг (м^3/м^3).

При пропуске через рассчитываемый участок газохода части газов $w_г$ определяется с поправкой на массовую долю g протекающего потока.

Расчетная скорость воздуха[1]

$$w_в = \frac{B_р \beta_{вп} V_0^н (t + 273)}{F_в 273}, \text{ м/с}, \quad (7\text{-}28б)$$

где $V_0^н$ - количество воздуха, теоретически необходимого для сгорания при нормальных условиях.

---

[1] Формула (7-28) может применяться для котлов с наддувом ($p \le 0{,}105$ МПа). Для высоконапорных парогенераторов знаменатель умножается на $10p$.

Для воздухоподогревателя без промежуточных отборов и подводов воздуха

$$\beta_{вп} = \beta'_{т} + \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2} + \beta_{рц} + \beta_{изб}. \quad (7\text{-}29)$$

Обозначения величин $\beta'_{т}$, $\Delta\alpha_{вп}$, $\beta_{рц}$ и $\beta_{изб}$ приняты как в п. 7-03.

Расчетная скорость водяного пара и воды

$$w_{п} = \frac{D\upsilon}{f}, \text{ м/с}, \quad (7\text{-}30)$$

где D - расход пара (воды), кг/с;

υ - средний удельный объем пара (воды), м^3/кг;

f - площадь живого сечения для прохода пара (воды), м^2.

7-16. Площадь живого сечения для прохода газов и воздуха в газоходах, заполненных поперечно и косо обтекаемыми гладкими и ребристыми трубами, рассчитывается по сечению, проходящему через оси поперечного ряда труб, равному разности между полной площадью поперечного сечения газохода в свету и частью этой площади, занятой трубами и ребрами. В указанном сечении площадь для прохода газов наименьшая по сравнению с любым другим параллельным сечением. В шахматных пучках труб меньшим может оказаться диагональное сечение. Случаи, когда это сечение принимается в качестве расчетного, оговариваются ниже.

При поперечном омывании:

– гладкотрубные и мембранные пучки

$$F = ab - z_1 ld, \text{ м}^2, \quad (7\text{-}31)$$

где a и b - размеры газохода в расчетном сечении, м (в экранированном газоходе a и b принимаются по осям труб экранов);

z_1 - число труб в ряду;

d, l - диаметр и длина труб, м; при изогнутых трубах l вычисляется как проекция труб на поперечное сечение газохода (рис. 7.4).

Рис. 7.4. К определению сечения газохода.

– пучки труб с поперечными ребрами (рис. 7.16)

$$F = \left[1 - \frac{1}{\sigma_1}\left(1 + 2\frac{h_{рб}}{s_{рб}}\frac{\delta_{рб}}{d}\right)\right]ab, \text{ м}^2, \quad (7\text{-}32)$$

где $\sigma_1 = s_1/d$ - относительный поперечный шаг труб;

d - диаметр несущей трубы, м;

$h_{рб}$, $\delta_{рб}$ - высота и средняя толщина ребра, м;

$s_{рб}$ - шаг ребер, м.

Для шахматных пучков при $\frac{\sigma_1 - 1}{\sigma'_2 - 1} > 1{,}7$ максимальная скорость газов имеет место в диагональном сечении

$$F_{д} = 2F\frac{\sigma'_2 - 1}{\sigma_1 - 1}, \text{ м}^2, \quad (7\text{-}33)$$

где $\sigma'_2 = \sqrt{(\sigma_1/2)^2 + \sigma_2^2}$ - относительный диагональный шаг труб;

F - сечение участка газохода, определенное по (7-31) или (7-32), м^2.

При продольном омывании:

– при течении среды внутри труб

$$F = z\frac{\pi d_{вн}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (7\text{-}34)$$

где z - число параллельно включенных труб;

$d_{вн}$ - внутренний диаметр труб, м;

– при течении среды между трубами

$$F = ab - z\frac{\pi d^2}{4},\ м^2, \qquad (7\text{-}35)$$

где z - число труб в пучке.

Если в данном газоходе имеется несколько участков с одинаковым характером омывания поверхности нагрева, но с различными живыми сечениями, в расчет вводится усредненная площадь сечения

$$F_{ср} = \frac{H_1 + H_2 + \ldots}{\frac{H_1}{F_1} + \frac{H_2}{F_2} + \ldots},\ м^2, \qquad (7\text{-}36)$$

где H_1, H_2 - поверхности нагрева участков с живыми сечениями F_1, F_2, м^2.

В случае плавного изменения сечения от входного F' до выходного F'' средняя площадь сечения

$$F_{ср} = \frac{2F'F''}{F' + F''},\ м^2. \qquad (7\text{-}37)$$

При расхождении в площадях сечений F' и F'' не более, чем на 25 %, можно производить арифметическое усреднение сечений.

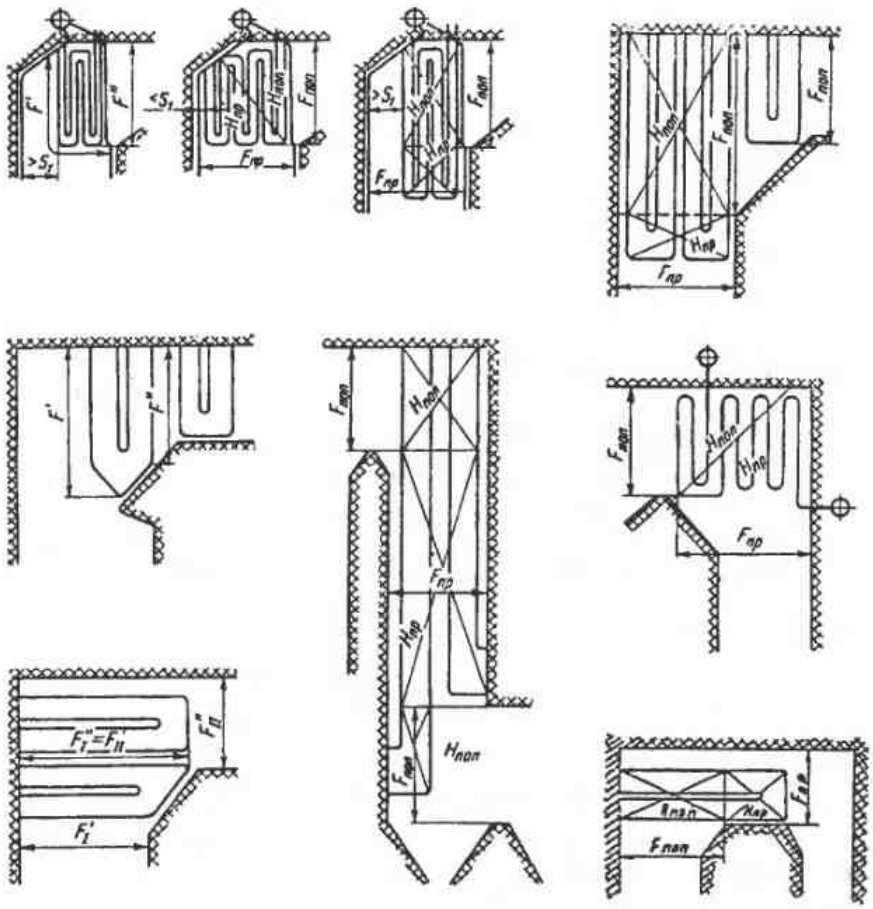


Рис. 7.5. К расчету сложно омываемых поверхностей нагрева.

При наличии в пучке газовых коридоров или для параллельно включенных газоходов определяется приведенное расчетное живое сечение

$$F_{ср} = F_п + F_ш \sqrt{\frac{\xi_п(\vartheta_п + 273)}{\xi_ш(\vartheta_ш + 273)}}, \text{ м}^2, \quad (7\text{-}38)$$

где $F_п$ и $F_ш$, $\xi_п$ и $\xi_ш$, $\vartheta_п$ и $\vartheta_ш$ - соответственно площади живого сечения, коэффициенты гидравлического сопротивления и средняя температура газов для пучка и шунтирующего или параллельного газохода.

Схемы для выбора расчетных живых сечений сложноомываемых пучков показаны на рис. 7.5.

7-17. Расчетная температура потока газов равна сумме средней температуры обогреваемой среды и температурного напора.

При охлаждении газов в пределах поверхности нагрева не более чем на 300 °С расчетную температуру потока с достаточной точностью можно определять как полусумму температур газов на входе в поверхность нагрева ϑ' и выходе из нее ϑ''

$$\vartheta = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2}, \text{ °C}. \quad (7\text{-}39)$$

7-18. Расчетный определяющий линейный размер канала принимается в зависимости от компоновки поверхности нагрева и характера омывания. Его выбор указан в каждом из рассматриваемых ниже случаев теплообмена.

7-19. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных гладкотрубных пучков и ширм[1], отнесенный к полной наружной поверхности труб

$$\alpha_к = 0{,}2 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0{,}65} \text{Pr}^{0{,}33}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \quad (7\text{-}40)$$

где C_S - поправка на геометрическую компоновку пучка; определяется в зависимости от относительных шагов труб

$$C_S = \left[1 + (2\sigma_1 - 3)\left(1 - \frac{\sigma_2}{2}\right)^3\right]^{-2} \quad (7\text{-}41)$$

при $\sigma_2 \geq 2$, а также при $\sigma_1 \leq 1{,}5$ $C_S = 1$;

при $\sigma_2 < 2$ и $\sigma_1 > 3$ в формуле (7-41) принимается значение $\sigma_1 = 3$;

C_Z - поправка на число рядов труб по ходу газов; определяется в зависимости от среднего числа рядов в отдельных пакетах рассчитываемого пучка

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } z_2 < 10 & C_Z = 0{,}91 + 0{,}0125(z_2 - 2) \\ \text{при } z_2 \geq 10 & C_Z = 1 \end{array}\right\} \quad (7\text{-}42)$$

λ - коэффициент теплопроводности среды при средней температуре потока, Вт/(м·К); определяется по п. 3-04;

ν - коэффициент кинематической вязкости среды при средней температуре потока, м^2/с; определяется по п. 3-03;

Pr - критерий Прандтля при средней температуре потока; определяется по п. 3-06.

По формулам (7-40) - (7-42) построена номограмма 7. Влияние изменения физических характеристик на коэффициент теплоотдачи в зависимости от температуры и состава газов учитывается коэффициентом $C_ф$.

Для котлов, работающих с наддувом, и высоконапорных парогенераторов коэффициент теплоотдачи конвекцией можно определять по той же номограмме. При p>0,105 МПа расчетная скорость должна вычисляться по объему газов при атмосферном давлении по (7-28а). Эта рекомендация относится и к другим случаям конвективного теплообмена в котлах под давлением.

---

[1] Формулы для определения коэффициентов теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании коридорных и шахматных пучков обоснованы опытами, проведенными в диапазоне $1{,}5\cdot10^3 < \text{Re} \leq 100\cdot10^3$.

7-20. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных гладкотрубных пучков

$$\alpha_к = 0{,}36 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0{,}6} Pr^{0{,}33},\ Вт/(м^2 \cdot К), \qquad (7\text{-}43)$$

где C_S - коэффициент, определяемый в зависимости от относительного поперечного шага σ_1 и значения $\varphi = (\sigma_1 - 1)/(\sigma_2' - 1)$.

Средний относительный диагональный шаг труб $\sigma_2' = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{4} + \sigma_2^2}$.

При $0{,}1 \le \varphi \le 1{,}7$ и всех σ_1 $C_S = 0{,}95\varphi^{0{,}1}$ (7-44а)

при $1{,}7 < \varphi \le 4{,}5$ и $\sigma_1 < 3$ $C_S = 0{,}77\varphi^{0{,}5}$ (7-44б)

при $1{,}7 < \varphi \le 4{,}5$ и $\sigma_1 \ge 3$ $C_S = 0{,}95\varphi^{0{,}1}$ (7-44в)

C_Z - поправка на число рядов труб по ходу газов

при $z_2 < 10$ и $\sigma_1 \le 3{,}0$ $C_Z = 3{,}12 z_2^{0{,}05} - 2{,}5$ (7-45а)

при $z_2 < 10$ и $\sigma_1 > 3{,}0$ $C_Z = 4{,}0\, z_2^{0{,}02} - 3{,}2$ (7-45б)

при $z_2 \ge 10$ $C_Z = 1$

Остальные обозначения те же, что в п. 7-19.

По формулам (7-43) - (7-45) построена номограмма 8 для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков дымовыми газами или воздухом

7-21. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании перекрестных пучков, в которых четные ряды труб расположены под прямым углом к нечетным[1]

$$\alpha_к = 0{,}4\varphi_\sigma^{0{,}2} \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0{,}6} Pr^{0{,}33},\ Вт/(м^2 \cdot К), \qquad (7\text{-}46)$$

где $\varphi_\sigma = (\sigma_1 - 1)/(2\sigma_2 - 1)$.

Остальные обозначения по п. 7-19.

7-22. При переменных по глубине или ширине газохода шагах труб пучка в расчет вводятся усредненные значения шага

$$s_{ср} = \frac{s'H' + s''H'' + \ldots}{H' + H'' + \ldots},\ м, \qquad (7\text{-}47)$$

где H', H'' - поверхности нагрева частей пучка с шагами s', s'', м^2.

В тех случаях, когда шаги в частях пучка приводят к различным значениям поправки на геометрическую компоновку пучка C_S, при определении $\alpha_к$ следует усреднить значения C_S по формуле, аналогичной (7-47).

При наличии в пучке участков с одинаковым характером омывания и различными диаметрами труб расчет ведется по усредненному диаметру

$$d_{ср} = \frac{H_1 + H_2 + \ldots}{\frac{H_1}{d_1} + \frac{H_2}{d_2} + \ldots},\ м. \qquad (7\text{-}48)$$

Для пучков, в которых трубы частично расположены в шахматном порядке, частично в коридорном, коэффициент теплоотдачи вычисляется раздельно для каждой части (при средних значениях температуры и скорости в пучке) и далее усредняется

$$\alpha_к = \frac{\alpha_{шах} H_{шах} + \alpha_{кор} H_{кор}}{H_{шах} + H_{кор}},\ Вт/(м^2 \cdot К). \qquad (7\text{-}49а)$$

Если поверхность нагрева труб, расположенных в шахматном (коридорном) порядке, превышает 85 % всей поверхности нагрева, пучок рассчитывается как шахматный (коридорный).

---

[1] Формула (7-46) проверена при $1{,}9 \le \sigma_1 \le 3{,}0$ и $1{,}0 \le \sigma_2 \le 2{,}0$.

Для пучков из оребренных труб, в которых неоребренные участки составляют более 20 %, коэффициент теплоотдачи определяется раздельно для оребренных и гладких участков при средних значениях температуры и скорости в пучке и далее усредняется

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{1пр} H_{ор} + \alpha_{1гл} H_{гл}}{H_{ор} + H_{гл}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \qquad (7\text{-}49б)$$

7-23. Расчетная скорость в пучках, омываемых косым потоком, вычисляется по сечению F_p (рис. 7.6). К значению коэффициента теплоотдачи, определяемому по формулам для поперечного омывания, при величине угла между направлением потока и осями труб $\beta<80^\circ$ для коридорных пучков вводят поправку 1,07; для шахматных пучков поправку не вводят.

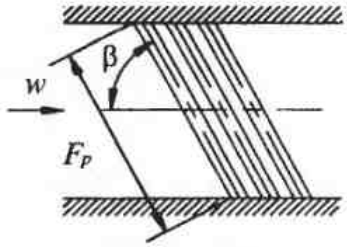


Рис. 7.6. Расчетное сечение газохода при косом омывании пучка.

7-24. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании мембранных и плавниковых коридорных пучков и ширм, отнесенный к полной наружной поверхности

$$\alpha_к = 0{,}1 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0{,}75} \mathrm{Pr}^{0{,}33}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}50)$$

где C_S - коэффициент, определяемый в зависимости от относительных шагов труб

при $1{,}45 \le \sigma_2 \le 3{,}5$ и
$\sigma_1 \le 3{,}0$ $\quad C_S = 0{,}64$
$3{,}0 < \sigma_1 \le 5{,}0$ $\quad C_S = 0{,}64 - 0{,}035\,(\sigma_1 - 3{,}0)$
$\sigma_1 > 5{,}0$ $\quad C_S = 0{,}57$

C_Z - поправка на число рядов труб по ходу газов

при $z_2 < 8$ $\quad C_Z = 1{,}0 + 0{,}017(8 - z_2)$
при $z_2 \ge 8$ $\quad C_Z = 1$

Остальные обозначения согласно п. 7-19. По формуле (7-50) построена номограмма 9.

7-25. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании мембранных и плавниковых шахматных пучков, отнесенный к полной наружной поверхности

$$\alpha_к = 0{,}14 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{0{,}7} \mathrm{Pr}^{0{,}33}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}51)$$

где C_S - коэффициент, определяемый в зависимости от относительных шагов труб

$$C_S = 0{,}78\left(\sigma_1^{-1{,}2}\frac{\sigma_1 - 1}{\sqrt{\sigma_1^2 + 4\sigma_2^2} - 2} + 1\right);$$

C_Z - поправка на число рядов труб по ходу газов

при $z_2 < 8$ и $\sigma_1 < 3{,}0$ $\quad C_Z = 1{,}0 - 0{,}017(8 - z_2)$
при $z_2 < 8$ и $\sigma_1 \ge 3{,}0$ $\quad C_Z = 1{,}0 - 0{,}0083(8 - z_2)$
при $z_2 \ge 8$ $\quad C_Z = 1$

При $\sigma_1 > 5{,}0$ коэффициент теплоотдачи конвекцией вычисляется как для коридорного пучка. При этом следует принимать $\sigma_1 = 0{,}5\ \sigma_{1\ шахм}$, $\sigma_2 = 2\sigma_{2\ шахм}$, а скорость газов определять по коридорному пучку с этими шагами.

По формуле (7-51) построена номограмма 10.

7-26. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных и коридорных пучков с круглыми, в том числе спирально-ленточным оребрением, и квадратными поперечными ребрами, отнесенный к полной наружной поверхности

$$\alpha_к = 0{,}113 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^{n} \mathrm{Pr}^{0{,}33}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}52)$$

где $n = 0{,}7 + 0{,}08\varphi + 0{,}005\psi_p$. (7-52а)

ψ_p находится по формулам (7-22а), (7-22б).

C_S - коэффициент, определяемый в зависимости от относительных поперечного и продольного шагов труб в пучке, типа пучка и коэффициента оребрения

$$C_S = (1{,}36 - \varphi)\left(\frac{11}{\psi_p + 8} - 0{,}14\right) \qquad (7\text{-}526)$$

$$\varphi = \operatorname{th} x .$$

Параметр x

- шахматные пучки $$x = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} - \frac{1{,}26}{\psi_p} - 2$$

- коридорные пучки $$x = 4\left(\frac{\psi_p}{7} + 2 - \sigma_2\right)$$

C_Z - поправка на число рядов труб по ходу газов

при $z_2 < 8$ и $\sigma_1/\sigma_2 < 2{,}0$ $\quad C_Z = 3{,}15 z_2^{0{,}05} - 2{,}5$

при $z_2 < 8$ и $\sigma_1/\sigma_2 \geq 2{,}0$ $\quad C_Z = 3{,}5 z_2^{0{,}03} - 2{,}72$

при $z_2 \geq 8$ $\quad C_Z = 1$

Для шахматных пучков зависимости C_S, C_Z и n от коэффициента оребрения ψ_p и σ_1/σ_2 приведены на рис. 7.7. Для коридорных зависимости C_S и n от σ_2- на рис. 7.8.

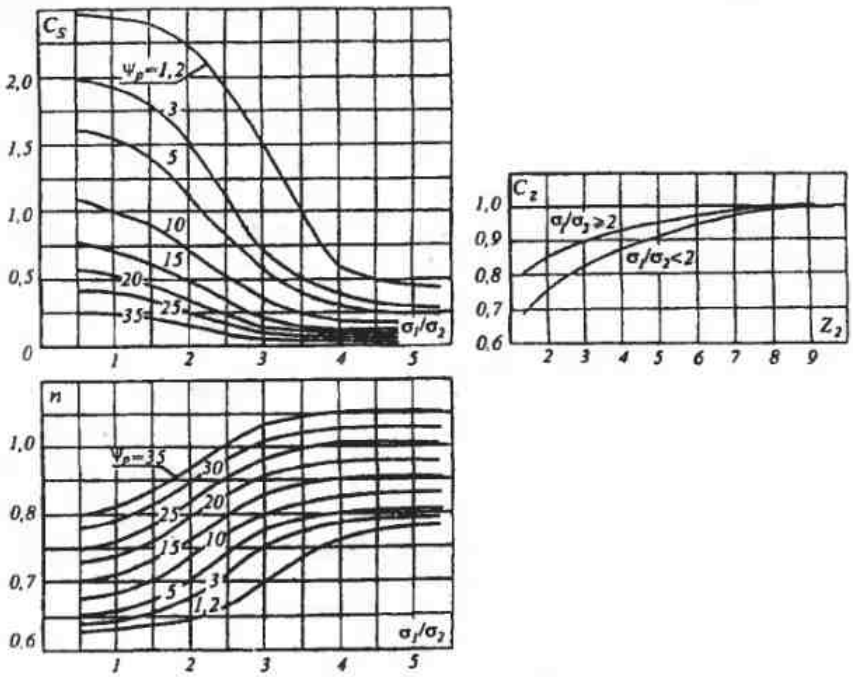


Рис. 7.7. Поправочные коэффициенты C_Z, C_S и показатель n к формуле (7-52) для шахматных пучков труб с поперечными ребрами.

7-27. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков с лепестковым оребрением, отнесенный к полной наружной поверхности, определяется по п. 7-26. Коэффициент оребрения ψ_p по п. 7-09.3.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков с мембранно-лепестковым оребрением, отнесенный к полной наружной поверхности

$$\alpha_к = 0{,}09 C_S C_Z \frac{\lambda}{d}\left(\frac{wd}{\nu}\right)^n \mathrm{Pr}^{0{,}33}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}53)$$

где обозначения и величины коэффициентов и показателя степени принимаются по п. 7-26, коэффициент оребрения определяется по п. 7-09.4.

7-28. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании шахматных пучков с проволочным оребрением, отнесенный к полной наружной поверхности

$$\alpha_к = 2{,}55\frac{\lambda}{s_в}\left(\frac{s_1}{d}\right)^{0{,}2}\left(\frac{s_2}{d}\right)^{-0{,}1}\left(\frac{l_0}{h}\right)^{0{,}36}\left(\frac{d}{s_в}\right)^{-0{,}6}\left(\frac{ws_в}{\nu}\right)^{0{,}46}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}54)$$

где d - наружный диаметр трубы, м;

$s_в$ - шаг витков, м;

h - высота петли, м;

$l_0 = \pi d/z$ - шаг петли, м;

z - число петель на одном витке.

Остальные обозначения - см. п. 7-19.

Для шахматных пучков с проволочным оребрением калорифера СО-110, имеющего следующие конструктивные характеристики

dxs мм	$s_в$ мм	h мм	l_o мм	d_o мм	s_1/d	s_2/d	$F/F_п$	H м^2/м	$H_{рб}$ м^2/м	G кг/м
16x2,5	5,0	8,0	0,84	0,5	2,13	1,81	0,405	0,365	0,347	1,5

формула (7-54) преобразуется к виду

$$\alpha_к = 10{,}9\lambda\left(\frac{w}{\nu}\right)^{0{,}46}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \qquad (7\text{-}54а)$$

7-29. Как правило, в элементах котлов имеет место развитое турбулентное движение (дымовых газов, воздуха, воды, пара). Поэтому для определения коэффициента теплоотдачи при продольном омывании приведена общая для всех видов продольно обтекаемых поверхностей формула развитого турбулентного течения.

В регенеративных воздухоподогревателях, выполненных из профилированных листов, характер движения газов и воздуха отличается от чисто продольного. Для них приведены собственные расчетные формулы.

7-30. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при продольном обтекании поверхности однофазным турбулентным потоком с давлением и температурой, далекими от критических

$$\alpha_к = 0{,}023\frac{\lambda}{d_э}\left(\frac{wd_э}{\nu}\right)^{0{,}8}\mathrm{Pr}^{0{,}4}C_l C_l C_к, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}55)$$

где λ - коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м К); определяется при средней температуре потока для воздуха и дымовых газов по п. 3-04, для пара и воды - по табл. VIII;

ν - коэффициент кинематической вязкости среды, м^2/с; определяется при средней температуре потока для воздуха и дымовых газов по п. 3-03, для пара и воды - по табл. VII и формуле (3-06);

$d_э$ - эквивалентный диаметр, м;

Pr - критерий Прандтля; определяется при средней температуре потока для воздуха и дымовых газов по п. 3-06, для пара и воды - по табл. IX.

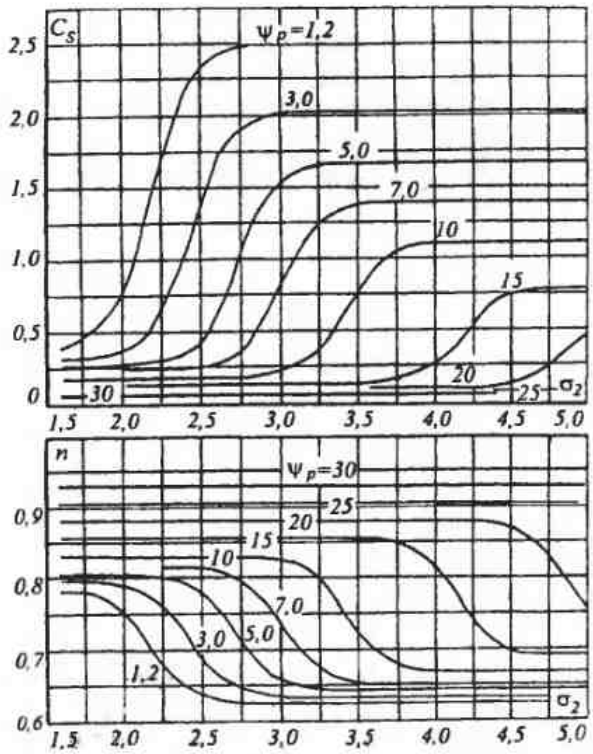


Рис. 7.8. Поправочный коэффициент C_s и показатель степени n к формуле (7-52) для коридорных пучков труб с поперечными ребрами.

При течении в круглой трубе ее эквивалентный диаметр равен внутреннему. При течении в трубе некруглого сечения, в кольцевом канале и при продольном омывании пучков эквивалентный диаметр подсчитывается по формуле

$$d_э = \frac{4F}{U}, \text{ м}, \qquad (7\text{-}56а)$$

где F - площадь живого сечения канала, м^2;

U - омываемый периметр, м.

Для газохода прямоугольного сечения, заполненного трубами ширм или конвективных пучков

$$d_э = \frac{4\left(ab - z\frac{\pi d^2}{4}\right)}{2(a+b) + z\pi d}, \text{ м}, \qquad (7\text{-}56б)$$

где a и b - поперечные размеры газохода в свету, м;

z - количество труб в газоходе;

d - наружный диаметр труб, м.

Поправка C_t в общем случае зависит от температуры потока и стенки.

Для дымовых газов и воздуха поправка C_t вводится только при их нагревании

$$C_t = \left(\frac{T}{T_{ст}}\right)^{0,5}, \qquad (7\text{-}57)$$

где T - температура газов (воздуха), К;

$T_{ст}$ - температура стенки, К.

При охлаждении газов (воздуха) $C_t = 1$.

При течении пара в элементах котла температура стенки мало отличается от температуры среды, поэтому $C_t = 1$.

Для регенеративных вращающихся воздухоподогревателей средняя температура стенки листов

$$t_{ст} = \frac{\vartheta_г x_1 + t_в x_2}{x_1 + x_2}, \text{ °C},$$

где $\vartheta_г$, $t_в$ - средние температуры газов и воздуха, °С;

x_1, x_2 - см. п. 7-13.

Для трубчатых и пластинчатых воздухоподогревателей температура стенки принимается равной средней между температурами воздуха и газов.

Для воды и других капельных неметаллических жидкостей (Pr>0,7)

$$C_t = \left(\frac{\mu}{\mu_{ст}}\right)^n, \qquad (7\text{-}58)$$

где n = 0,11 при нагревании и 0,25 - при охлаждении жидкостей;

μ и $\mu_{ст}$ - коэффициент динамической вязкости жидкости при температурах потока и стенки, Па·с.

В элементах котла температура воды высокая и вязкость слабо зависит от нее. Поэтому для воды принимается $C_t = 1$.

Поправка на относительную длину C_l вводится в случае прямого входа в трубу без закругления при значении $l/d < 50$ и определяется по номограмме 11.

При продольном омывании газами поправка C_l вводится для пучков и не вводится для ширм.

Поправка $C_к$ вводится только при течении в кольцевых каналах с односторонним обогревом (внутренней или наружной поверхности); определяется по рис. 7.9. При двустороннем обогреве $C_к$=1.

Для воздуха и дымовых газов $\alpha_к$ определяется по номограмме 11; для пара, исключая критическую область - по номограмме 12; для некипящей воды вдали от критической области - по номограмме 13. Указания по определению $\alpha_к$ для воды и пара в области, близкой к критической, приведены в п. 8-17.

В номограммах 11, 14 и 15 поправочный коэффициент $C'_ф$ учитывает не только влияние изменения физических характеристик, но и поправку C_l. В номограмме 13 коэффициент C_l учитывает только изменение физических характеристик рабочих сред.

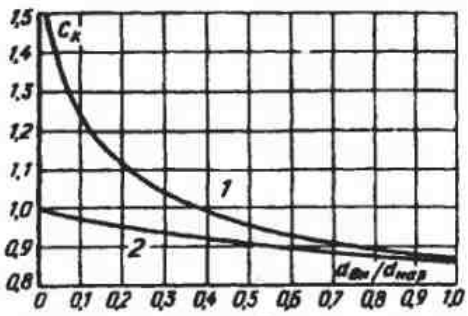


Рис. 7.9. Поправка $C_к$ при течении в кольцевых каналах с односторонним обогревом.
1 - внутренний обогрев;
2 - наружный обогрев.

7-31. Для ширмоконвективных пучков коэффициент теплоотдачи по газовой стороне определяется раздельно для трех участков (входной, вертикальный, выходной) с последующим усреднением пропорционально поверхности.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией для входного и выходного участков ширм и конвективных элементов, расположенных против газовых окон, и для ширм на вертикальном участке определяется как для коридорного поперечно омываемого пучка по п. 7-19 и номограмме 7. Вертикальные участки ширм рассчитываются с коэффициентом C_S = 0,7. Для всех участков ширм вводится поправка на отношение полной поверхности к расчетной - см. (7-13) и (7-14).

Коэффициент теплоотдачи конвекцией зигзагообразных конвективных элементов определяется как для шахматного поперечно омываемого пучка по п. 7-20 или номограмме 8.

Коэффициент теплоотдачи излучением для всех участков определяется по п. 7-35, причем для зигзагообразных участков вводится поправочный коэффициент $2s_1x/\pi dz_2$, где z_2 - количество рядов труб по ходу газов в разводке зигзагов.

Коэффициент использования поверхности принимается ξ = 0,85.

7-32. Коэффициент теплоотдачи по газовой и воздушной сторонам набивок вращающихся регенеративных воздухоподогревателей (РВП), выполненных из сплошных листов или фарфоровых трубок[1]

$$\alpha_к = 0{,}023\frac{\lambda}{d_э}\left(\frac{wd_э}{\nu}\right)^{0.8} \mathrm{Pr}^{0.4} C_t C_l C_н, \ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \qquad (7\text{-}59)$$

Значения коэффициентов C_t и C_l определяются по п. 7-30.

Значение коэффициента $C_н$ зависит от профиля набивки:

– из гладких листов (рис. 7.10а) $C_н$ = 0,9;

– из волнистых листов и гладких дистанционирующих листов (рис. 7.10б) или из одних волнистых листов (рис. 7.10в) коэффициент $C_н$ зависит от относительной суммарной высоты волн профиля - $(a+b)/(a+b+c)$. Для применяемой набивки из волнистых листов и гладких дистанционирующих листов (a = 0, b = 2,4 мм, c = 3,0 мм) $C_н$ = 1,16. Для интенсифицированной набивки из двух волнистых листов (a = 2,4 мм, b = 2,4 мм, c = 3,0 мм) $C_н$ = 1,6. Для набивок такого же профиля, но с высотой волн листов, отличающейся от применяемых в котлостроении

$$C_н = 0{,}9 + 1{,}6\left(\frac{a+b}{a+b+c}\right)^2;$$

– для керамической из фарфоровых трубок (рис. 7.10г) $C_н$ = 0,9;

– для эмалированных листов «холодной» ступени воздухоподогревателя значение $C_н$ снижается на 5 % по сравнению со значением для неэмалированных листов.

Эквивалентный диаметр набивки $d_э$ определяется по (7-56б) и равен для применяемых набивок: из гладких листов - 9,8 мм, из волнистых листов и гладких дистанционирующих листов - 7,8 мм, интенсифицированной - 9,6 мм.

По формуле (7-59) построена номограмма 14.

---

[1] Формула (7-59) обоснована опытами, проведенными в диапазоне $1\cdot10^3 \le \mathrm{Re} \le 10\cdot10^3$.

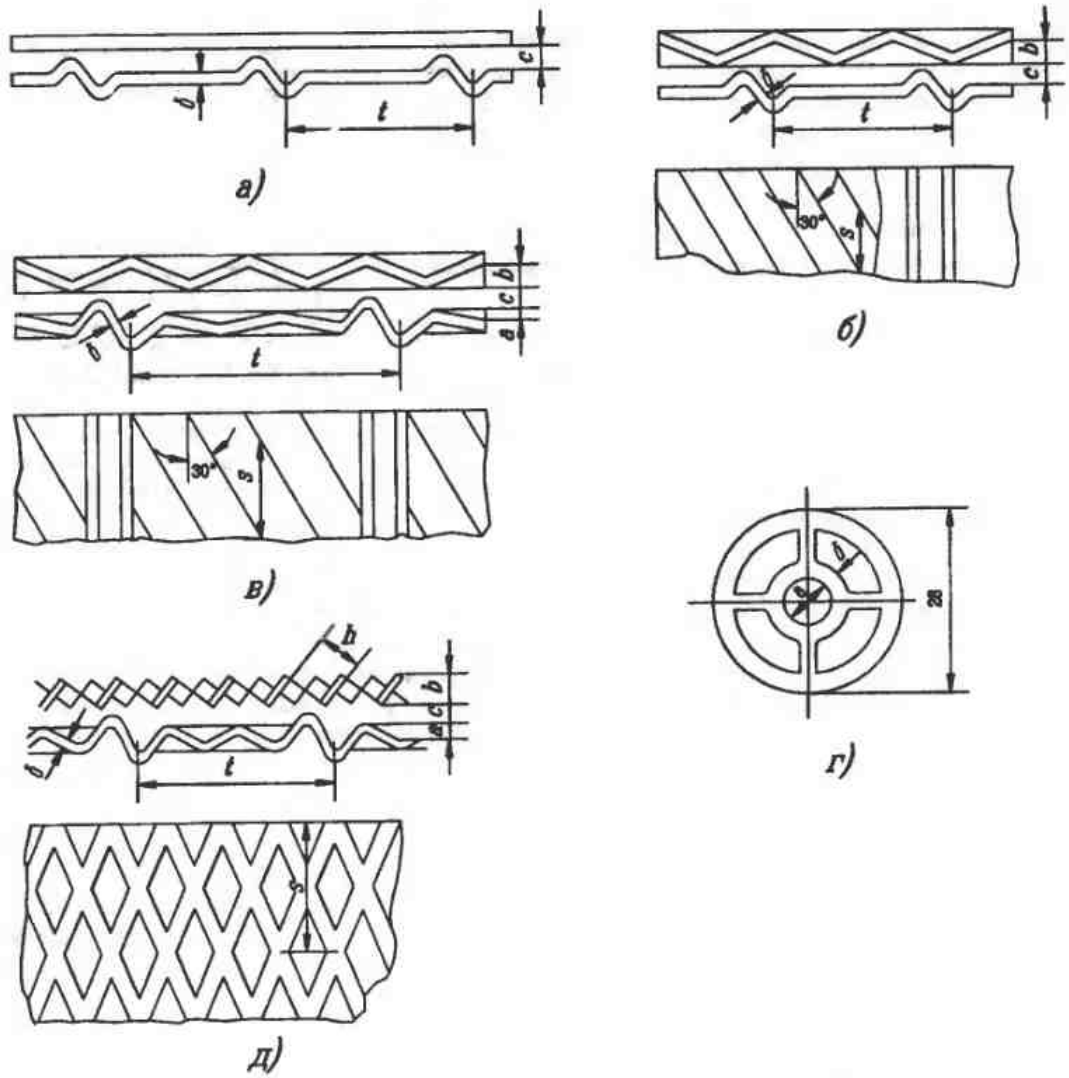


Рис. 7.10. Схемы набивок регенеративных подогревателей.
а - гладкие листы; *б* - волнистые и гладкие дистанционирующие листы; *в* - волнистые дистанционирующие листы; *г* - фарфоровая трубка; *д* - перфорированная набивка.

Коэффициент теплоотдачи по газовой и воздушной сторонам перфорированной набивки (рис. 7.10д) из просечных листов и волнистых дистанционирующих листов[1]

$$\alpha_к = 0{,}1\frac{\lambda}{d_э}\left(\frac{wd_э}{\nu}\right)^{0{,}7} \mathrm{Pr}^{0{,}4} C_t C_н, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \qquad (7\text{-}60)$$

Коэффициент $C_н$ зависит от относительной суммарной высоты волн профиля $(a+h)/(a+b+c)$ и относительной высоты волны просечного листа h/s.

При $0{,}4 < \dfrac{a+h}{a+b+c} < 0{,}75$ и $0{,}07 < \dfrac{h}{s} < 0{,}2$

$$C_н = \left(0{,}25 + 0{,}68\frac{a+h}{a+b+c}\right)\left(1 + 7{,}7\frac{h}{s}\right).$$

По формуле (7-60) построена номограмма 15.

Значение коэффициента C_t определяется по п. 7-30.

[1] Формула (7-60) обоснована опытами, проведенными в диапазоне $0{,}6\cdot10^3 \le \mathrm{Re} \le 11\cdot10^3$.

Живое сечение для прохода газов и воздуха и поверхность нагрева РВП для набивок указанных типов:

$$F = 0{,}785 D_{вн}^2 x k_р k_л, \text{ м}^2;$$

$$H = 0{,}95 \cdot 0{,}785 D_{вн}^2 k_р h c, \text{ м}^2,$$

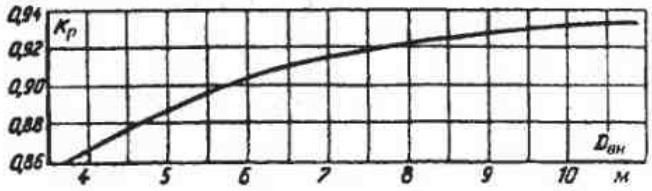


Рис. 7.11. Коэффициент $k_р$.

где $D_{вн}$ - внутренний диаметр ротора, м;

x - часть общего сечения РВП, омываемая газом или воздухом;

$k_р$ - коэффициент, учитывающий загромождение сечения ротора ступицей и перегородками; определяется по рис. 7.11;

$k_л$ - коэффициент, учитывающий загромождение сечения ротора листами (стенками трубок);

h - высота набивки, м;

c - полная поверхность нагрева 1 м^3 объема ротора (за вычетом объема ступицы и перегородок), м^2/м^3. Для набивок из листов (включая перфорированные) $c = 3600 / d_э$.

Коэффициент 0,95 в формуле для H указывает на степень заполнения ротора листами поверхности нагрева при отсутствии зазоров между пакетами.

Для применяемых набивок значения коэффициента $k_л$ и c приведены в таблице.

Тип набивки	$d_э$, мм	δ, мм	$k_л$	c, м^2/м^3
Интенсифицированная, рис. 7.10в	9,6	0,63	0,89	365
Неинтенсифицированная, рис. 7.10б	7,8	0,63	0,86	440
Гладкая, рис. 7.10а	9,8	1,2	0,81	325
Из фарфоровых трубок, рис. 7.10г	7,8	2,0	0,67	325

7-33. Коэффициент теплоотдачи конвекцией для пластинчатых воздухоподогревателей при $\mathrm{Re} < 10^4$

$$\alpha_к = 0{,}00365 \frac{\lambda}{\nu} w \mathrm{Pr}^{0.4}, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}. \qquad (7\text{-}61)$$

Обозначения те же, что в п. 7-19.

По формуле (7-61) построена номограмма 16. При $\mathrm{Re} > 10^4$ расчет ведется по формуле (7-55) или номограмме 11. Допустимость пользования номограммой 16 проверяется при помощи ее вспомогательных линий.

в) Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания

7-34. В расчете учитывается излучение трехатомных газов, а при сжигании твердых топлив - и взвешенных в потоке частиц золы. Количество тепла, переданное 1 м^2 поверхности нагрева излучением $q_л$, кВт/м^2, определяется с использованием коэффициента теплоотдачи излучением продуктов сгорания

$$\alpha_л = \frac{q_л}{T - T_з} \cdot 10^3, \text{ Вт/(м}^2\text{·К)}, \qquad (7\text{-}62)$$

где T и $T_з$ - температуры газов и наружной поверхности стенки с учетом загрязнений, К; определяются по формуле (7-39) и п. 7-39.

Коэффициент теплоотдачи излучением не учитывается в расчетах поверхностей нагрева с поперечным оребрением, в том числе лепестковым, мембранно-лепестковым и проволочным и может не учитываться в трубчатых и пластинчатых воздухоподогревателях, если средняя температура газов в них меньше 300 °С.

7-35. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания:
– для запыленного потока с учетом излучения золы

$$\alpha_л = 5{,}67\cdot10^{-8}\frac{a_э+1}{2}aT^3\frac{1-\left(\frac{T_э}{T}\right)^4}{1-\frac{T_э}{T}},\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)};\qquad (7\text{-}63)$$

– для незапыленного потока (продукты сгорания газообразных и жидких топлив)

$$\alpha_л = 5{,}67\cdot10^{-8}\frac{a_э+1}{2}aT^3\frac{1-\left(\frac{T_э}{T}\right)^{3,6}}{1-\frac{T_э}{T}},\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)},\qquad (7\text{-}64)$$

где $a_э$ - степень черноты загрязненных стенок лучевоспринимающих поверхностей; для поверхностей нагрева котлов $a_э$ = 0,8;

a - степень черноты потока газов при температуре T; определяется по формуле для изотермического объема

$$a = 1-e^{-kps},\qquad (7\text{-}65)$$

здесь kps - суммарная оптическая толщина продуктов сгорания. Для котлов без наддува и с наддувом $p \le 0{,}105$ МПа принимается p=0,1 МПа.

По формуле (7-65) построена номограмма 17.

По формуле (7-63) построена номограмма 18 для определения коэффициента теплоотдачи излучением запыленного потока .

Для определения коэффициента теплоотдачи излучением незапыленного газового потока значение $\alpha_л$, найденное по номограмме 18, умножают на коэффициент $C_г$, определяемый по вспомогательному полю номограммы.

7-36. Суммарная оптическая толщина запыленного газового потока

$$kps = \left(k_г^{\circ}\, r_п + k_{зл}\,\mu_{зл}\right)ps.\qquad (7\text{-}66)$$

Для незапыленного потока второе слагаемое равно нулю. Его можно не вводить в расчет также при слоевом и факельно-слоевом сжигании твердых топлив.

7-37. Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания $k_г^{\circ}$ определяется по формуле (6-13) или номограмме 2 в зависимости от объемной доли водяных паров, температуры газов и произведения суммарного парциального давления ($pr_п$) трехатомных газов на эффективную толщину излучающего слоя.

Коэффициент поглощения лучей золовыми частицами $k_{зл}\,\mu_{зл}$ находится по формуле (6-16) в зависимости от температуры продуктов сгорания, типа топочного устройства и вида топлива.

7-38. Эффективная толщина излучающего слоя ограниченного со всех сторон газового объема на ограждающие поверхности

$$s = 3{,}6\frac{V}{F_{ст}},\ \text{м},\qquad (7\text{-}67)$$

где V - объем излучающего слоя, м^3;

$F_{ст}$ - площадь ограждающих поверхностей, м^2.

При размещении в газовом объеме фестонов с числом рядов $z_2 \le 3$ их поверхность включается в $F_{ст}$.

Для гладкотрубных пучков, в том числе фестонов с числом рядов более трех, (7-67) преобразуется к виду

$$s = 0{,}9d\left(\frac{4}{\pi}\sigma_1\sigma_2 - 1\right),\ \text{м}.\qquad (7\text{-}67а)$$

Для ширмовых поверхностей

$$s = \frac{1{,}8}{\frac{1}{A} + \frac{1}{s_1} + \frac{1}{l}},\ \text{м}, \qquad (7\text{-}67\text{б})$$

где A, s_1, l - высота, поперечный шаг и глубина (с учетом просвета между половинами ширмы) единичной камеры, образованной двумя соседними ширмами, м.

Для мембранных конвективных пучков

$$s = 0{,}9d\frac{\frac{4}{\pi}\sigma_1\sigma_2 - 1}{\frac{4}{\pi}\frac{h_{\text{рб}}}{d} + 1},\ \text{м}. \qquad (7\text{-}67\text{в})$$

Для фестонов с числом рядов не более трех эффективная толщина излучающего слоя определяется по (7-67) с учетом объемов до и после них. Для этих же фестонов, расположенных непосредственно за топкой, α_n не учитывается.

Для всех трубных поверхностей нагрева эффективная толщина излучающего слоя определяется по шагам труб в основной части пучка без учета отдельных разрывов или пазух.

При расчете горячих ступеней воздухоподогревателей (средняя температура газов более 300 °С) также учитывается излучение газов; эффективная толщина излучающего слоя для трубчатых воздухоподогревателей с течением газов в трубах принимается $s = 0{,}9d_{\text{вн}}$, где $d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр трубы, м; для пластинчатых - $s = 1{,}8b$, где b - расстояние между пластинами в свету.

Указания по учету излучения газовых объемов между или внутри пакетов приводятся в п. 7-40.

7-39. При определении коэффициента теплоотдачи излучением температура стенки труб принимается равной температуре слоя золовых отложений $T_з$:

- для поверхностей нагрева, эффективность теплоотдачи в которых оценивается коэффициентом загрязнения ε (7-Б,г)

$$T_з = t + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}\right)\frac{B_р}{H}\left(Q_л + Q\right)\cdot 10^3 + 273,\ \text{К}. \qquad (7\text{-}68)$$

Для ширмовых поверхностей нагрева при сжигании жидкого и твердого топлива ε принимается по 7-Б,г.

Для настенных труб ориентировочно принимают при сжигании жидкого топлива ε = 0,003; при сжигании твердого топлива ε = 0,005 м²·К/Вт.

- для поверхностей нагрева, эффективность теплоотдачи в которых оценивается коэффициентом тепловой эффективности ψ (7-Б,г)

$$T_з = t + \left[\frac{1}{\psi}\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}\right) - \frac{1}{\alpha_1}\right]\frac{B_р}{H}\left(Q_л + Q\right)\cdot 10^3 + 273,\ \text{К}, \qquad (7\text{-}69)$$

Для экономайзеров и испарительных поверхностей величину $1/\alpha_2$ в формулах (7-68) и (7-69) можно исключить.

Для оребренных поверхностей величина $1/\alpha_2$ в (7-68) и (7-69) умножается на $H/H_{\text{вн}}$.

В остальных случаях температура загрязненной стенки может приниматься равной

$$T_з = t + \Delta t_з + 273,\ \text{К}. \qquad (7\text{-}70)$$

Для фестонов, расположенных на выходе из горизонтального газохода, $\Delta t_з$ = 50 °С.

Для одноступенчатых экономайзеров при $\vartheta' > 400$ °С, вторых ступеней двухступенчатых экономайзеров, переходных зон прямоточных котлов и котельных пучков котлов малой мощности при сжигании твердых и жидких топлив, а также древесины $\Delta t_з$ = 60 °С.

Для одноступенчатых экономайзеров при $\vartheta' \le 400$ °С и первых ступеней двухступенчатых экономайзеров при сжигании твердых и жидких топлив $\Delta t_з = 25$ °С.

При сжигании газа для всех поверхностей $\Delta t_з = 25$ °С.

Для вторых по воздуху ступеней воздухоподогревателей температура стенки принимается равной полусумме температур газов и воздуха.

7-40. Тепло излучения газового объема на настенную поверхность, ограждающую объем, или отдельно стоящий в объеме ряд труб

$$Q_л = \alpha_л \frac{(\vartheta_{ср} - t_з)H_л}{B_р} \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (7\text{-}71)$$

где $\alpha_л$ - коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·К); определяется по п.п. 7-34 – 7-39 при средних значениях температуры газов в объеме $\vartheta_{ср}$, объемных долей трехатомных газов r_{H_2O} и $r_п$ и концентрации золовых частиц $\mu_{зл}$;

$t_з$ - температура загрязненной стенки труб, °С;

$H_л$ - лучевоспринимающая поверхность нагрева, м²; определяется по п. 6-02.

Излучение газового объема на расположенный за ним по ходу газов конвективный пучок учитывается увеличением расчетного коэффициента теплоотдачи излучением пучка $\alpha_л$

$$\alpha'_л = \alpha_л \left[1 + A \left(\frac{T_{об}}{1000} \right)^{0,25} \left(\frac{l_{об}}{l_п} \right)^{0,07} \right], \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (7\text{-}72)$$

где $l_п$, $l_{об}$ - глубина рассчитываемого пучка и газового объема, м (рис. 7.12);

$T_{об}$ - температура газов в объеме (перед пакетом), К.

Коэффициент A = 0,3 при сжигании газа и мазута, 0,4 - при сжигании каменных углей и АШ и 0,5 - при сжигании бурых углей, сланцев и фрезерного торфа.

Для фестонов с числом рядов $z_2 \le 3$ поправки по формуле (7-72) не вводятся.

Тепло, переданное трубному пучку излучением газового объема, расположенного по ходу газов за пучком, весьма незначительно и может не учитываться.

Тепло излучения из газового объема на ширмы, расположенные за этим объемом, учитывается увеличением степени черноты межширмового объема a до a' по формуле

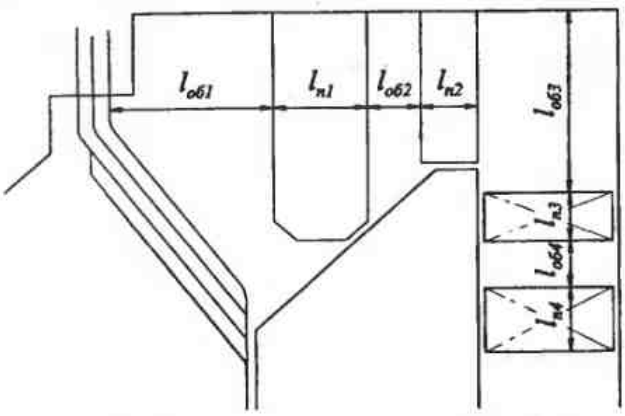


Рис. 7.12. К учету излучения газовых объемов.

$$a' = a \left[1 + \frac{a_{об}}{a} \frac{s_1}{2l_{об}} \Sigma x_р (1 - a) \frac{T_{об}^4 - T_з^4}{T_{ср}^4 - T_з^4} \right], \qquad (7\text{-}73)$$

где $a_{об}$ - степень черноты газов в газовом объеме;

$l_{об}$ - глубина объема по ходу газов, м;

s_1 - поперечный шаг ширм за объемом, м;

$T_{об}$, $T_{ср}$, $T_з$ - температура газов в объеме и средняя в ширмах, загрязненной стенки ширм, К;

$\Sigma x_р$ - сумма угловых коэффициентов в ширме; определяется по табл. 7-1.

г) Коэффициенты загрязнения, использования и тепловой эффективности поверхностей нагрева

7-41. Значение коэффициента использования поверхности нагрева ξ принимается в зависимости от полноты омывания ее газами. В случае, если обеспечивается прохождение через поверхность всего газового потока, принимается $\xi = 1$.

Для ширм рекомендуемые значения ξ приведены на рис. 7.13.

Коэффициент использования при смешанном омывании пучков (рис. 7.14) $\xi = 0{,}95$.

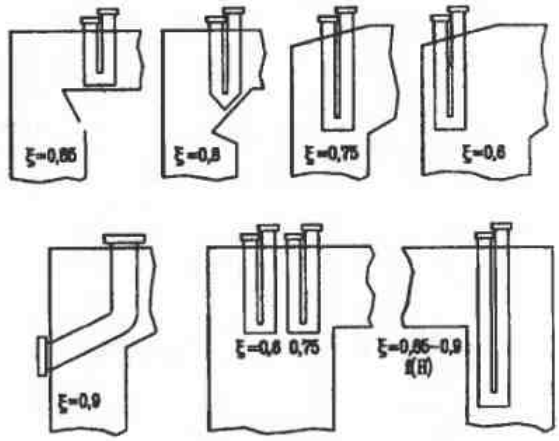


Рис. 7.13. К расчету ширмовых поверхностей нагрева.

7-42. Топлива, образующие при сжигании рыхлый первичный слой загрязнений на трубах (например, угли экибастузский, кузнецкий, АШ), считаются умеренно загрязняющими. Топлива, образующие прочный первичный слой (например, канско-ачинские, кизеловский), считаются сильно загрязняющими. Критерием загрязняющих свойств топлива является содержание CaO в минеральной части топлива. Топливо с содержанием $CaO \geq 13$ % считается сильно загрязняющим. Особо загрязняющим топливом являются сланцы.

Коэффициент загрязнения ширм ε при сжигании твердых топлив принимается в зависимости от загрязняющей способности топлива, температуры газов перед ширмами $\vartheta'_ш$ при номинальной нагрузке котла и наличия очистки по рис. 7.15. В соответствии со свойствами топлива устанавливается верхний уровень допустимой температуры газов перед ширмами (см.прил. II).

Использование рис. 7.15 недопустимо при температуре газов перед ширмами, превышающей рекомендуемую по приложению II, поскольку в этом случае зашлакованность резко увеличивается.

Коэффициент загрязнения ширм при сжигании сланцев принимается:

- при виброочистке 50 Гц при температуре газов перед ширмами

$\vartheta'_ш = 600 - 850$ °С $\quad \varepsilon = 0{,}035$ м²·К/Вт,

$\vartheta'_ш > 850$ °С $\quad \varepsilon = 0{,}04$ м²·К/Вт;

- при очистке с использованием системы низкочастотного встряхивания (СУНЧВ) $\varepsilon = 0{,}03$ м²·К/Вт.

7-43. Коэффициент загрязнения ширм при сжигании мазута с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_т \leq 1{,}03$ принимается $\varepsilon = 0{,}0025$ м²·К/Вт. При более высоких значениях $\alpha_т$ принимается $\varepsilon = 0{,}005$ м²·К/Вт.

При сжигании газа $\varepsilon = 0{,}0015$ м²·К/Вт.

При сжигании газа вместе или после мазута или пыли следует принимать ε по более загрязняющему топливу.

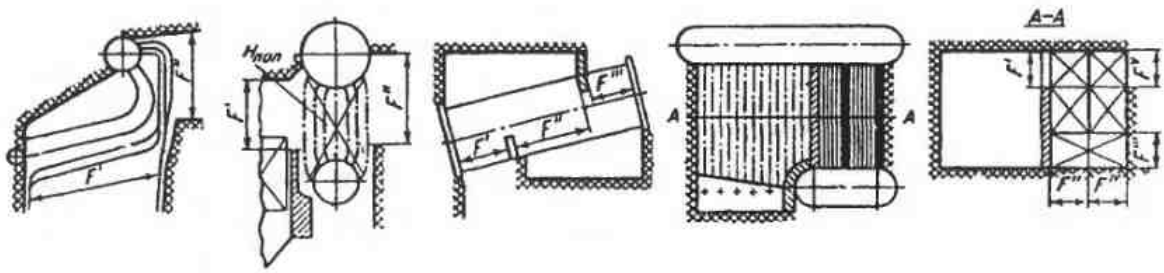


Рис.7.14. К расчету смешанно омываемых поверхностей нагрева.

7-44. Коэффициент тепловой эффективности ψ коридорных и шахматных конвективных гладкотрубных, плавниковых, мембранных, лепестковых и мембранно-лепестковых поверхностей нагрева при сжигании твердых топлив, кроме сланцев, определяется по рис. 7.16 в зависимости от средней температуры газов в пучке при номинальной нагрузке котла и загрязняющих свойств топлива. Критерий загрязняющих свойств топлив приведен в п. 7-42.

Для коридорных и шахматных экономайзеров и газоводяных подогревателей (ГВП) с круглыми, в том числе со спирально-ленточным оребрением, и квадратными поперечными ребрами (рис. 7.1б) при сжигании умеренно загрязняющих топлив коэффициент тепловой эффективности следует принимать по прямой 1 (рис. 7.16).

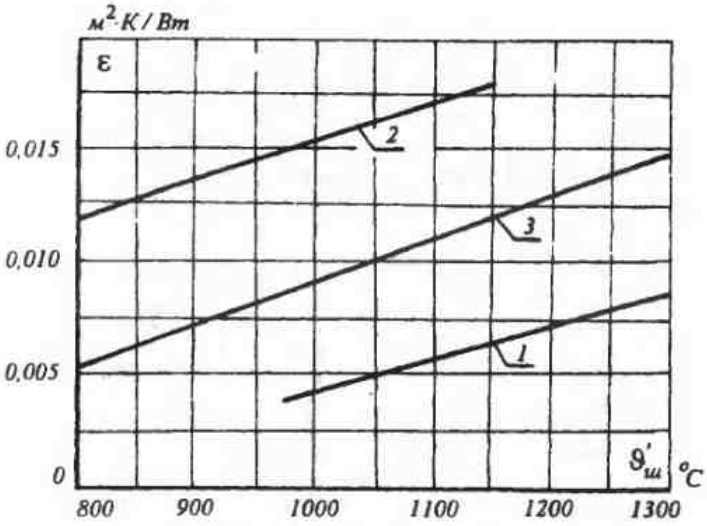


Рис. 7.15. Коэффициент загрязнения ширм при сжигании твердых топлив.
1 - умеренно загрязняющие; 2 - сильно загрязняющие; 3 - сильно загрязняющие с очисткой.

При сжигании сланцев с применением очистки коэффициент тепловой эффективности коридорных поверхностей нагрева и шахматных одноступенчатых экономайзеров принимается равным 0,5. При отсутствии очистки значение коэффициента снижают на 0,05.

Для чугунных ребристых экономайзеров котлов малой мощности указания по учету влияния вида сжигаемого топлива и способа очистки труб приведены на номограмме 5.

7-45. Коэффициент тепловой эффективности ψ для всех конвективных гладкотрубных и оребренных поверхностей нагрева при сжигании мазута с малыми избытками воздуха $\alpha_т \le 1{,}03$ принимается по табл. 7-4.

При работе котлов с $\alpha_т > 1{,}03$ значения ψ для всех поверхностей нагрева уменьшают на 0,05.

Данные табл. 7-4 могут быть использованы и при вводе твердых присадок (магнезит, доломит), но при наличии очистки поверхностей нагрева. При вводе твердых присадок и отсутствии очистки значения ψ снижают на 0,05.

Таблица 7-4

Наименование поверхности нагрева	ψ
Перегреватели, котельные пучки, фестоны, переходные зоны, - все с коридорным расположением труб и ширмоконвективные поверхности	0, 65
Перегреватели, котельные пучки, фестоны, переходные зоны - все с шахматным расположением труб	0,60
Экономайзеры и газоводяные подогреватели - горячие и холодные ступени	0,65
То же при температуре воды на входе 100 °С и ниже	0,45 - 0,5

7-46. При сжигании газа для всех конвективных гладкотрубных и оребренных поверхностей значения коэффициента тепловой эффективности ψ принимаются по табл. 7-5.

Таблица 7-5

Наименование поверхности нагрева	ψ
Перегреватели, котельные пучки, фестоны, переходные зоны, горячие ступени экономайзеров	0,80
Экономайзеры - холодные ступени и одноступенчатые, газоводяные подогреватели	0,85
Ширмоконвективные поверхности	0,75

7-47. При сжигании газа после мазута (без остановки котла на чистку) коэффициенты тепловой эффективности принимаются на 0,05 выше, чем при сжигании мазута; при сжигании газа после твердого топлива (без остановки котла на чистку) - по твердому топливу.

Коэффициенты загрязнения для этих вариантов принимаются по более загрязняющему топливу.

При сжигании смеси топлив коэффициенты эффективности принимаются по более загрязняющему топливу.

7-48. При расчете котла на пониженную нагрузку коэффициенты загрязнения и эффективности поверхностей нагрева всех видов принимаются такими же как в расчете на номинальную нагрузку.

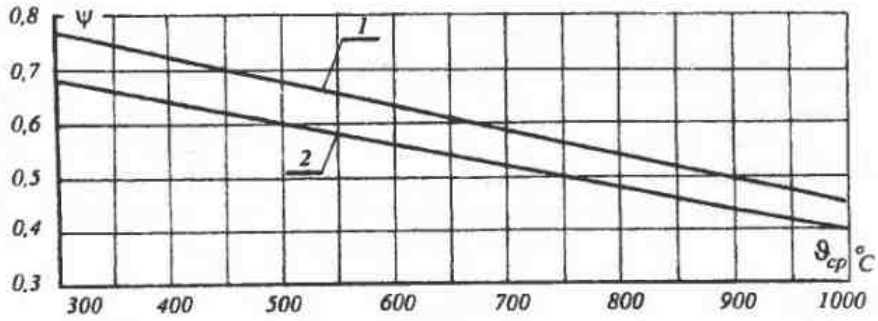


Рис. 7.16. Коэффициент тепловой эффективности конвективных поверхностей при сжигании твердых топлив.
1 - умеренно загрязняющие и сильно загрязняющие с очисткой;
2 - сильно загрязняющие без очистки.

7-49. При поперечно - продольном смывании ширм, гладкотрубных и мембранных пучков коэффициенты загрязнения или тепловой эффективности продольно омываемых участков принимаются такими же, как при поперечном омывании.

7-50. Коэффициенты эффективности трубчатых воздухоподогревателей при движении продуктов сгорания в трубах и выполнении ходов из отдельных кубов (а не за счет установки промежуточных трубных досок в пределах куба), пластинчатых и чугунных ребристых воздухоподогревателей определяются по табл. 7-6.

Таблица 7-6

Вид топлива	Коэффициент эффективности воздухоподогревателя				
	Трубчатые			Пластинчатые	Чугунные ребристые
	С-перекрест		Z-перекрест		
	холодные ступени, одноступенчатые	горячие ступени			
АШ, фрезерный торф, канско-ачинские угли	0,90	0,75	0,85	0,85	0,75
Мазут и древесное топливо	0,85	0,90	0,85	0,70	0,70
Все остальные топлива (кроме газа)	0,90	0,90	0,85	0,85	0,80
Газ	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85

Примечания. 1. При сжигании фрезерного торфа применение чугунных ребристых воздухоподогревателей не рекомендуется.
2. Коэффициент эффективности трубчатых воздухоподогревателей Z -перекреста приведен для варианта с «винтовыми» перепускными коробами.

При наличии в С-перекрестных трубчатых воздухоподогревателях межходовых трубных досок в пределах секции, из-за которых имеют место перетоки воздуха между ходами, коэффициент эффективности ψ снижается по отношению к значениям, приведенным в таблице, следующим образом: на 0,15 - в двухходовой ступени с одной и в трехходовой ступени с двумя промежуточными трубными досками; на 0,05 - в трехходовой при одной промежуточной трубной доске между любыми ходами и в четырехходовой при двух промежуточных трубных досках между любыми ходами.

Коэффициент эффективности регенеративных воздухоподогревателей для всех топлив принимается равным:

при $\Delta\alpha_{вп} \le 0{,}15$ $\psi = 0{,}9$;

при $0{,}15 < \Delta\alpha_{вп} < 0{,}25$ $\psi = 0{,}9 - (\Delta\alpha_{вп} - 0{,}15)$;

при $\Delta\alpha_{вп} \ge 0{,}25$ $\psi = 0{,}8$.

Значения коэффициентов эффективности воздухоподогревателей при сжигании сернистого мазута снижаются на 0,05 против указанных выше в следующих случаях: для регенеративных - при среднеарифметической температуре воздуха и газов на холодной стороне менее 110°С, для

трубчатых - при температурах воздуха на входе в воздухоподогреватель ниже 90°С в случае сжигания с коэффициентом избытка воздуха $\alpha_т \le 1{,}03$ и ниже 110°С в случае $\alpha_т > 1{,}03$.

Коэффициент эффективности поперечно омываемых трубчатых воздухоподогревателей с движением газов между трубами принимается по рекомендациям для поперечно омываемых конвективных пучков.

7-51. Коэффициент эффективности паровых и водяных калориферов и водовоздушных теплообменников, установленных в воздушных коробах сложной конфигурации, в связи с неполным их омыванием принимается $\psi = 0{,}85$. При полном омывании поверхности $\psi = 0{,}95$.

7-В. Температурный напор

7-52. Температурный напор Δt, т.е. усредненная по всей поверхности нагрева разность температур греющей и обогреваемой сред, зависит от их взаимного направления движения. Если температура одной из сред в пределах поверхности нагрева не изменяется, то такой зависимости нет.

7-53. Дальнейшие рекомендации относятся к случаю сравнительно небольшого изменения водяного эквивалента[1] каждой из теплообменивающихся сред в пределах поверхности нагрева. Это условие может не выполняться в начальных ступенях перегревателей сверхвысокого давления (свыше 15 МПа), в перегревателях с высокой начальной влажностью пара, переходных зонах и «кипящих» экономайзерах, где водяной эквивалент изменяется за счет изменения агрегатного состояния или теплоемкости обогреваемой среды.

7-54. Схема включения, при которой обе среды на всем пути движутся параллельно навстречу друг другу, называется противоточной, а в одну сторону - прямоточной. Температурный напор для обеих схем, а также при постоянной температуре одной из сред определяется как среднелогарифмическая разность температур

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \dfrac{\Delta t_б}{\Delta t_м}},\ \text{К}, \qquad (7\text{-}74)$$

где $\Delta t_б$ - разность температур сред на том конце поверхности нагрева, где она больше, К;

$\Delta t_м$ - разность температур на другом конце поверхности, К.

В тех случаях, когда $\Delta t_б / \Delta t_м \le 1{,}7$, температурный напор можно с достаточной точностью определять как среднеарифметическую разность температур

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б + \Delta t_м}{2} = \vartheta - t,\ \text{К}, \qquad (7\text{-}75)$$

где ϑ, t - средние температуры обеих сред.

7-55. Наибольший возможный температурный напор достигается при противотоке, наименьший - при прямотоке, при прочих схемах включения получаются промежуточные значения. Поэтому, если выполняется условие $\Delta t_{прм} \ge 0{,}92\,\Delta t_{прт}$ ($\Delta t_{прм}$ и $\Delta t_{прт}$ - температурные напоры для случаев прямо- и противотока), то температурный напор для любой сложной схемы включения может быть приближенно оценен по зависимости

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{прм} + \Delta t_{прт}}{2},\ \text{К}. \qquad (7\text{-}76)$$

Исключение составляют схемы с двух- и более ходовым перекрестным током при общем прямоточном взаимном направлении потоков, у которых температурный напор может быть ниже, чем при чистом прямотоке из-за того, что на отдельных участках температура обогреваемой среды может быть выше, чем греющей. Для этих схем пользоваться формулой (7-76) не рекомендуется.

7-56. Ниже даются указания по расчету температурного напора для схем, отличных от чистого противотока и прямотока.

Различают схемы с параллельным и перекрестным токами теплообменивающихся сред.

Температурный напор для этих схем определяется по формуле

---

[1] Произведение расхода среды на теплоемкость.

$$\Delta t = \psi \Delta t_{прт}, \text{ К}, \quad (7\text{-}77)$$

где ψ- коэффициент пересчета от противоточной схемы к более сложной, определяемый по соответствующим номограммам.

Схемы с параллельным током подразделяются на схемы с последовательно и параллельно - смешанными токами.

7-57. В схемах с последовательно-смешанным током поверхность нагрева состоит из двух участков, включенных последовательно по обеим средам; при переходе из одного участка в другой изменяется взаимное движение обеих сред. По этим схемам с разными сочетаниями участков могут выполняться перегреватели и экономайзеры.

Схемы (рис.7.17а) характеризуются тем, что участки с более низкими температурами обеих сред совмещены (т.е. вход обогреваемой и выход греющей сред размещены в одном сечении). В схемах I и II первая часть (по ходу греющей среды) включена по прямотоку, вторая - по противотоку, а в схеме III - наоборот.

Коэффициент ψ определяется по номограмме 19. Предварительно вычисляются безразмерные определяющие параметры:

$$A = \frac{H_{прм}}{H}, \quad (7\text{-}78а)$$

$$P = \frac{\tau_2}{\vartheta' - t'}, \quad (7\text{-}78б)$$

$$R = \frac{\tau_1}{\tau_2}, \quad (7\text{-}78в)$$

где H, $H_{прм}$ - поверхности нагрева - полная и прямоточного участка, м^2;

τ_1, τ_2 - полные перепады температур, К: для схем I и II $\tau_1 = \vartheta' - \vartheta''$, $\tau_2 = t'' - t'$;

для схемы III $\tau_1 = t'' - t'$, $\tau_2 = \vartheta' - \vartheta''$.

Обозначения температур даны на схемах.

Номограмму 19 нельзя применять для расчета поверхностей нагрева, включенных по схемам последовательно-смешанного тока, отличным от указанных на ней. Кривые, приведенные на номограмме, нельзя экстраполировать; при значениях определяющих параметров, выходящих за пределы номограммы, а также при отличающихся схемах последовательно-смешанного тока расчет температурного напора ведется отдельно для противоточного и прямоточного участков.

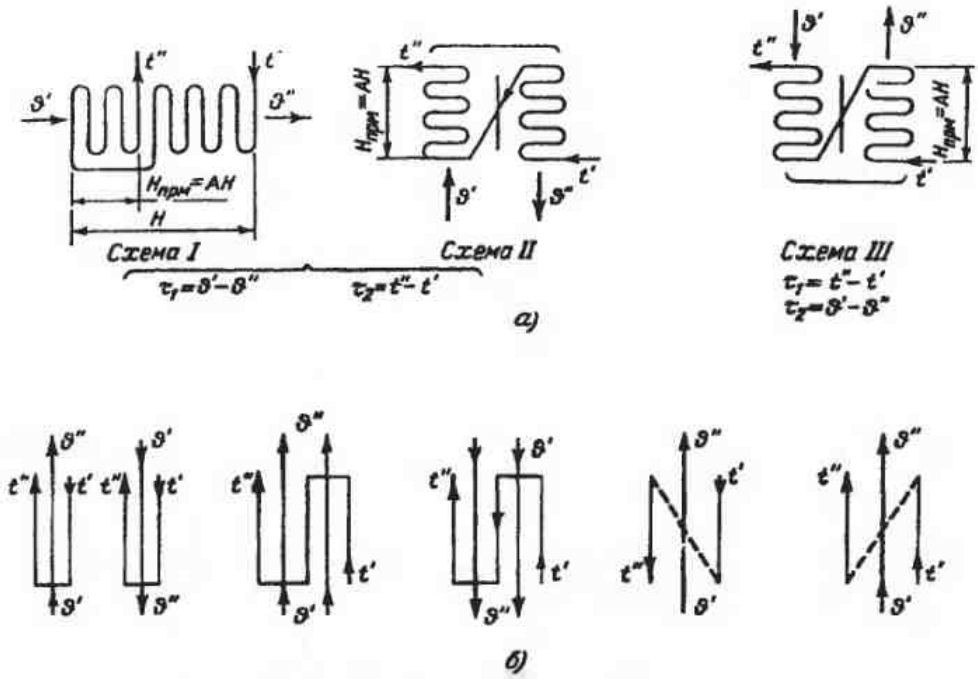


Рис. 7.17. Схемы к расчету температурного напора.
а - с последовательно-смешанным током; б - с параллельно-смешанным током.

7-58. В схеме с параллельно-смешанным током (рис. 7.17б) поверхность нагрева состоит из нескольких участков, включенных последовательно по одной из сред (многоходовой) и параллельно по другой (одноходовой). При расчете температурного напора безразлично, является ли одноходовой греющая или обогреваемая среда.

Рассматриваются следующие схемы:

- схема с двумя ходами многоходовой среды, причем оба хода с прямотоком по отношению к одноходовой среде;
- схема с тремя ходами многоходовой среды, из которых два с прямотоком и один с противотоком по отношению к одноходовой среде ;
- схема с двумя ходами многоходовой среды, из которых один (безразлично, первый или второй) с противотоком, а другой - с прямотоком по отношению к одноходовой среде. Эта кривая используется и для расчета схем с любым четным количеством ходов при равном количестве прямоточных и противоточных ходов;
- схема с тремя ходами многоходовой среды, из которых два с противотоком и один с прямотоком по отношению к одноходовой среде;
- схема с двумя ходами многоходовой среды, причем оба хода с противотоком по отношению к одноходовой среде.

Коэффициент ψ определяется по номограмме 20.

При построении номограммы 20 приняты следующие допущения:

- полное перемешивание одноходовой среды. Установка продольных перегородок, разделяющих одноходовую среду на параллельно текущие несмешивающиеся потоки, несколько увеличивает температурный напор. Но при $\psi>0{,}8$ это увеличение незначительно, поэтому номограммой можно пользоваться для всех случаев независимо от наличия перегородок;
- равенство поверхностей нагрева различных ходов. С достаточной точностью ею можно пользоваться и для случаев, когда $0{,}7 \le H_{прт} / H_{прм} \le 1{,}5$ ($H_{прт}$ и $H_{прм}$ - поверхности нагрева противоточной и прямоточной частей [1]).

Для пользования номограммой необходимо вычислить безразмерные параметры

$$P = \frac{\tau_м}{\vartheta' - t'}, \qquad (7\text{-}79а)$$

$$R = \frac{\tau_б}{\tau_м}, \qquad (7\text{-}79б)$$

где ϑ', t' - начальные температуры греющей и обогреваемой сред;

$\tau_б$ - полный перепад температур той среды, у которой он больше, чем перепад температур второй среды $\tau_м$.

Коэффициент ψ для схем с нечетным количеством ходов, большим трех, принимается равным полусумме значений ψ , определенных по кривым 3 и 2 или 3 и 4, в зависимости от того, каких ходов больше - прямо или противоточных.

7-59. В схеме с перекрестным направлением потоков обеих сред температурный напор при числе ходов не более четырех[2] зависит от количества ходов, общего взаимного направления потоков сред (прямоток или противоток), условий перемешивания сред в пределах ходов и между ними, схемы соединения ходов многоходовой среды.

Рассматриваются две основные схемы соединения ходов:

С - среда в соединенных ходах движется во встречном направлении;

---

[1] В случае, если $B = H_{прт} / H_{прм}$ выходит за пределы, приведенные в неравенстве, коэффициент ψ для схем с двумя ходами многоходовой среды (один противоточный и другой прямоточный)

$$\psi = \frac{\mu \lg \dfrac{1-P}{1-PR}}{(R-1)\lg \dfrac{2-P(R+1-\mu)}{2-P(R+1+\mu)}}, \quad \text{где} \quad \mu = \sqrt{R^2+1-2R\left(\frac{2B}{B+1}-1\right)}$$

[2] При большем числе ходов поверхности нагрева обычно, за исключением тех случаев, когда температурный напор на одном конце поверхности очень мал, могут рассматриваться как противо- или прямоточные.

Z - направление движения среды в соединенных ходах совпадает.

В воздухоподогревателях применяется также комбинация этих схем - ZC и CZ.

Для расчета всех схем перекрестного тока, за исключением четырехкратного (схема С), приняты следующие допущения:

- обе среды в пределах каждого хода не перемешиваются;
- одноходовая среда не перемешивается и между ходами.

Для четырехкратного перекрестного тока перемешивание обеих сред между ходами практически не влияет на величину температурного напора и поэтому для него принято полное перемешивание обеих сред.

Среда, изменяющая направление движения между ходами (обычно нагреваемая), в зависимости от конструкции поворотных каналов и наличия в них разделительных перегородок перемешивается в большей или меньшей степени. При схеме С перемешивание между ходами увеличивает температурный напор, а при схеме Z уменьшает его. При этом влияние перемешивания среды при схеме Z значительно больше, чем при схеме С.

Имеющие практическое значение схемы перекрестного тока при различных условиях их перемешивания приведены на рис. 7.18.

1 - однократный (кривая 1); 2 - двухкратный, схема С, противоток (кривая 2); 3 - трехкратный, схема С, противоток (кривая 3); 4 - четырехкратный, схема С, противоток (кривая 4); 5 - трехкратный, схема ZC, противоток (кривая 5); 6 - трехкратный, схема CZ, противоток (кривая 5); 7 - двухкратный, схема Z с разделением перепускного короба перегородкой пополам, противоток (кривая 6); 8 - двухкратный, схема Z с разделением перепускного короба на три канала, противоток (кривая 7); 9 - трехкратный, схема Z с полным перемешиванием обогреваемой среды между ходами, противоток (кривая 8); 10 - трехкратный, схема Z без перемешивания обогреваемой среды между ходами, противоток (кривая 9); 11 - двухкратный, схема С, прямоток (кривая 10); 12 - двухкратный, схема Z с разделением перепускного короба на три канала, прямоток (кривая 11); 13 - трехкратный, схема С, прямоток (кривая 12); 14 - трехкратный, схема Z с разделением перепускных коробов на три канала, прямоток (кривая 13).

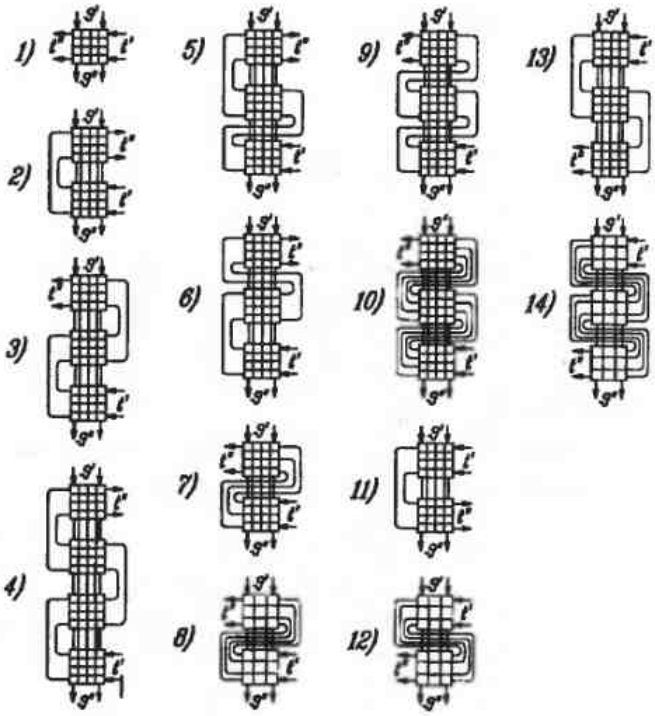


Рис. 7.18. Схемы к расчету температурного напора при перекрестном токе.

При общем противоточном направлении потоков сред для двухкратного перекреста (схема С) и трехкратного (схемы С, ZC и CZ) разность коэффициентов ψ для случаев полного перемешивания и неперемешивания обогреваемой среды не превышает 0,03.

При двухкратном перекресте по схеме Z полное перемешивание среды, изменяющей направление движения, не рекомендуется. Деление на два канала существенно повышает температурный напор по сравнению со случаем полного перемешивания. Деление на три и более каналов практически приближает температурный напор к величинам, имеющим место при отсутствии перемешивания.

Для схемы Z при общем противотоке приводятся варианты с двумя и с тремя параллельными каналами при полном перемешивании среды внутри отдельных каналов. При общем прямотоке приведен только вариант с тремя каналами в перепускном коробе.

Для трехкратного перекреста по схеме Z при общем противотоке принято как полное перемешивание, так и отсутствие перемешивания среды, движущейся между ходами с изменением направления движения. Влияние деления перепускных коробов на каналы аналогично случаю двухкратного перекреста по схеме Z. Для трехкратного перекреста по схеме Z при общем прямотоке принято деление перепускных коробов на три канала.

Коэффициент ψ для схем С и комбинированных ZC (CZ) определяется по сплошным линиям номограммы 21 , а для схем Z - по пунктирным. Номера кривых номограммы 21 указаны в описаниях схем, показанных на рис. 7.18.

Для пользования номограммой 21 предварительно вычисляются те же безразмерные параметры, что при параллельно-смешанном токе, по формулам (7-79).

Температурный напор схем с перекрестным током:

- общий противоток

$$\Delta t = \psi \Delta t_{прт}, \ К; \tag{7-80а}$$

- общий прямоток

$$\Delta t = \psi \Delta t_{прт}^{усл}, \ К, \tag{7-80б}$$

где $\Delta t_{прт}^{усл}$ - условный температурный напор противотока

при $(\vartheta'' - t') > (\vartheta' - t'')$ $\quad \Delta t_{прт}^{усл} = \dfrac{(\vartheta'' - t') - (\vartheta' - t'')}{\ln \dfrac{\vartheta'' - t'}{\vartheta' - t''}}, \ К;$ (7-81а)

при $(\vartheta'' - t') \le (\vartheta' - t'')$ $\quad \Delta t_{прт}^{усл} = \dfrac{(\vartheta' - t'') - (\vartheta'' - t')}{\ln \dfrac{\vartheta' - t''}{\vartheta'' - t'}}$ К. (7-81б)

7-60. Линии номограммы 21, предназначенные для определения температурного напора при многократно-перекрестном токе, построены для случая равенства поверхностей нагрева различных ходов и равномерных полей температур сред на входе. С достаточной для практических расчетов точностью номограммой 21 можно пользоваться при уменьшении первого по воздуху хода трубчатого воздухоподогревателя до двух раз по отношению к последующим ходам.

7-61. В тех случаях, когда схема включения поверхности нагрева отличается от рассмотренных ранее и не выполняется условие $\Delta t_{прм} \ge 0{,}92 \Delta t_{прт}$, расчет температурного напора производится по отдельным участкам поверхности нагрева. При этом коэффициент теплопередачи в пределах поверхности нагрева принимается постоянным. Задаваясь значением промежуточной температуры одной из сред, следует определить из уравнения теплового баланса соответствующую ей температуру второй среды и по ней рассчитать температурные напоры на участках. Правильность подбора промежуточных температур проверяется выполнением условия

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta t_1 H_1}{\Delta t_2 H_2}, \tag{7-82}$$

где Q_1, Q_2 - тепловосприятия участков на 1 кг (1 м^3) одной из сред, кДж/кг (кДж/м^3). Если участок воспринимает тепло излучения из топки, то в формулу (7-82) подставляется величина Q без учета этого излучения;

H, Δt - соответственно поверхность нагрева, м^2, и температурный напор, К, каждого участка.

Усредненный для всей поверхности нагрева температурный напор находится по формуле

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_1 H_1 + \Delta t_2 H_2}{H_1 + H_2}, \ К. \tag{7-83}$$

7-62. В случаях значительных изменений теплоемкости одной из сред, а также изменения агрегатного состояния среды в пределах рассчитываемой поверхности нагрева (от нагрева к испарению и от испарения к перегреву) непосредственное определение температурного напора для всей поверхности нагрева по конечным температурам приводит к значительной погрешности. Общим в этом случае является расчет температурных напоров для отдельных участков, на которых суммарная теплоемкость принимается постоянной, с последующим усреднением этих напоров по формуле

$$\Delta t_{ср} = \frac{Q_1 + Q_2 + \ldots}{\frac{Q_1}{\Delta t_1} + \frac{Q_2}{\Delta t_2} + \ldots}, \text{ K}, \quad (7\text{-}84)$$

где Q - тепловосприятия участков на 1 кг (1 м^3) одной из сред, кДж/кг (кДж/м^3);

Δt - температурные напоры на участках, К.

В некоторых случаях при переменной теплоемкости одной из сред можно пользоваться при ручном расчете упрощенными способами расчета температурного напора.

7-63. Для «кипящих» экономайзеров, включенных по противотоку, при паросодержании среды на выходе $x \le 30$ % достаточная точность определения температурного напора получается при подстановке вместо конечной температуры воды условной

$$t_{усл} = t_s + 0{,}5\Delta i_п, \text{ °C}, \quad (7\text{-}85)$$

где $\Delta i_п = i'' - i'_s$ - изменение энтальпии в процессе парообразования, кДж/кг;

i'' - энтальпия среды на выходе из экономайзера, кДж/кг;

i'_s - энтальпия кипящей воды при давлении в барабане, кДж/кг;

t_s - температура кипения, °С.

Применимость такого способа расчета ограничена наименьшими значениями разности температур газов и воды на «холодном» конце экономайзера или отдельно рассчитываемой его ступени при заданных температурах воды на входе в экономайзер и давлении в котле. При разности температур $\Delta t_м$ (см. п. 7-54) меньшей, чем в приведенной ниже таблице, расчет температурного напора следует вести по участкам.

	Давление в котле p, МПа			
	≤1,4	>1,4		
	Температура воды на входе в экономайзер t', °С			
	≥20	100-139	140-179	≥180
Наименьшая разность температур $\Delta t_м$	100	150	110	80

7-64. Перегреватели или отдельные их ступени с высокой начальной влажностью пара (после пароохладителя) можно рассчитывать без учета начальной влажности пара при условии

$$\frac{(1-x)r}{i_{пе} - i_x} \le 0{,}12, \quad (7\text{-}86)$$

где r - теплота испарения, кДж/кг;

$(1\text{-}x)$ - влажность поступающего в перегреватель пара;

$i_{пе}$, i_x - энтальпии перегретого и влажного пара, кДж/кг.

Если температурный напор первой ступени перегревателя рассчитывается отдельно, выполнение условия (7-86) следует проверять для этой ступени.

При несоблюдении условия (7-86) температурные напоры участков испарения и перегрева рассчитываются раздельно и усредняются по формуле (7-84).

Если условие (7-86) не выполняется в перегревателях, включенных по схеме последовательно-смешанного тока, расчет по участкам производится следующим образом.

Часть прямоточной поверхности на участке перегрева приближенно определяется по выражению

$$A = \frac{H_{прм}}{H\left[1 - \frac{(1-x)r}{i_{пе} - i_x}\right]} \quad (7\text{-}87)$$

где H - поверхность нагрева всего перегревателя, м^2.

Далее по конечным температурам газов и пара для участка перегрева определяют параметры P , R и температурный напор при противотоке. По номограмме 19 находят коэффициент ψ и температурный напор для участка перегрева.

Если параметры P и R для участка перегрева выходят за пределы кривых номограммы 19, расчет температурного напора ведется раздельно для обоих ходов по промежуточным температурам газов и пара. После выбора промежуточных температур рассчитывают по формуле (7-83) усредненный температурный напор для первого (по пару) хода перегревателя и по формуле (7-82) проверяют правильность выбора температур между ходами.

Усреднение температурных напоров для участков перегрева и испарения производится по формуле (7-84).

Расчет температурного напора в перегревателе с высокой начальной влажностью пара, включенном по схеме параллельно-смешанного тока, производится аналогично. Условно принимается, что газоход разделен между ходами продольной перегородкой и отношение расходов газов по частям газохода равно отношению поверхностей нагрева соответствующих ходов. Коэффициенты теплопередачи для различных ходов принимаются одинаковыми. Задаются температурой пара между ходами, по ней и известным температурам пара на входе и выходе из перегревателя, а также температуре газов перед поверхностью из уравнения баланса определяется температура газов за каждым ходом.

После этого проверяется по уравнению (7-82) правильность принятого значения промежуточной температуры пара. Температурный напор для хода, состоящего из испарительной и перегревательной частей, рассчитывается по формуле (7-84).

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА СТЕНОК ТРУБ

8-01. Под расчетной температурой металла труб $t_{ст}$ понимается наибольшее местное значение температуры стенки, вычисленное с учетом неравномерностей тепловосприятия по поверхности или сечению элемента[1] и окружности трубы, растечки тепла по стенке, гидравлической неравномерности и конструктивной нетождественности труб элемента. Так как большая часть обогреваемых труб котлов высокого и сверхкритического давления рассчитывается на длительную прочность, то при определении расчетной температуры металла их стенок нужно учитывать, в основном, статистически длительные значения этих температур, а не кратковременные их пики. В соответствии с этим выбираются значения коэффициентов неравномерности.

Для тех элементов, которые рассчитываются не на длительную прочность, а на временное сопротивление разрыву, значения коэффициентов неравномерности принимаются увеличенными на 20-30 % в зависимости от конструктивных характеристик элемента.

В расчетах учитывается определяемая по опытным данным неравномерность тепловосприятия в направлении, перпендикулярном направлению теплового потока (движения газов) по ширине, и, в отдельных случаях, для радиационных элементов, по высоте газохода (элемента). Изменения температур газов и рабочей среды по ходу движения газов (вдоль направления теплового потока) определяются тепловым расчетом элемента; замена расчета использованием опытных «коэффициентов неравномерности по глубине» не рекомендуется[2]

8-02. Температура стенок обогреваемых труб рассчитывается обычно для номинальной нагрузки котла на каждом расчетном топливе при номинальной температуре питательной воды. Целесообразно также проводить поверочный расчет температуры стенки радиационных поверхностей нагрева (НРЧ, СРЧ и ВРЧ прямоточных котлов, радиационных перегревателей) и ширм при нагрузке примерно 50 % номинальной.

Температура стенки проверяется в расчетных сечениях элемента, где высоки удельное тепловосприятие, температура среды и уменьшенный, по сравнению со средним, расход среды: наибольшее значение температуры металла будет в том расчетном сечении, где сконцентрируются все или часть этих факторов.

Следует учитывать, что наибольшие нагрузки приходятся:

в коридорных пучках и ширмах - на трубы первого ряда по ходу газов;

в шахматных пучках - на трубы первого или второго ряда.

Если первый ряд ширм закорочен или выполнен из более жаростойкой стали проверяется также второй (третий) ряд.

При развитых по высоте радиационных элементах следует дополнительно проверить температуру стенки в зоне энтальпии, при которой устанавливается ухудшенный теплообмен.

При наличии паропарового или газопарового теплообменника также следует проверить температуру греющей среды перед местом ее отбора на теплообменник; если температура пара при нагрузке 70 % здесь выше, чем при номинальной, необходимо рассчитать температуру стенки указанного участка при пониженной нагрузке (70 %).

8-03. В основу расчета прочности труб принимается средняя (по толщине) температура металла стенки разверенной трубы. В дальнейшем эта температура называется расчетной температурой стенки

$$t_{ст} = t + \delta t_{т} + \beta \mu q_{макс} 10^{3} \left(\frac{\delta}{\lambda_{м}} \frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_{2}} \right), \ ^{\circ}C. \qquad (8\text{-}01)$$

Температура наружной поверхности стенки разверенной трубы служит для оценки вероятности окалинообразования

---

[1] Элемент - трубная поверхность нагрева, заключенная между коллекторами.

[2] Расчет по коэффициенту неравномерности по глубине можно допустить в порядке исключения для однотипных конструкций на одно топливо при наличии экспериментальных данных.

$$t_{ст.н} = t + \delta t_т + \beta\mu q_{макс} 10^3 \left(\frac{\delta}{\lambda_м} \frac{2}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \ °C, \qquad (8\text{-}02)$$

где t - средняя для элемента температура среды в расчетном сечении, °С;находится по п. 8-05;

$\delta t_т$ - превышение температуры среды в развернной трубе над средней в элементе в расчетном сечении, °С; определяется по п. 8-07. Для испарительных поверхностей котлов докритического давления принимают $\delta t_т = 0$

μ - коэффициент растечки тепла[1]; определяется по п. 8-19. Для кипятильных труб котлов докритического давления $\mu \approx 1$;

δ - толщина стенки трубы, м;

$\beta = \frac{d}{d_{вн}} = \frac{d}{d - 2\delta}$ - отношение наружного диаметра трубы к внутреннему;

$q_{макс}$ - максимальное удельное тепловосприятие развернной трубы в расчетном сечении, кВт/м^2; находится по п.п. 8-08 и 8-13. Здесь и далее, при отсутствии оговорок, удельное тепловосприятие определяется всегда по наружной поверхности;

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к обогреваемой среде, Вт/(м^2·К); определяется по п. 8-17;

$\lambda_м$ - коэффициент теплопроводности металла стенки, зависящий от марки стали и температуры; определяется по формуле

$$\lambda_м = A(t_{ст} - t_{исх}) + B, \ Вт/(м·К),$$

здесь $t_{ст}$ - средняя по толщине стенки температура металла; принимается для определения $\lambda_м$ равной t + 50, °С;

$A, B, t_{исх}$ - коэффициенты и исходная для расчета температура;принимаются по табл. 8-1

Таблица 8-1

Марка стали	A·10^2 Вт/(м·К^2)	B Вт/(м·К)	$t_{исх}$, °С
Ст.3	–3,32	55,0	0
Сталь 10, 20	–2,47	52,5	0
12Х1МФ, 12ХМФ	–2,47	42,2	300
12ХМ, 15ХМ	–1,85	38,7	300
12Х2МФСР	–1,16	33,6	300
11Х11В2МФ (ЭИ-756)	–1,16	24,0	300
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т	1,62	21,3	400
12Х14Н14В2М (ЭИ-257)	1,51	20,0	400
09Х14Н19В2БР (695Р)	1,51	20,0	400

8-04. Температура стенки может рассчитываться по упрощенным рекомендациям, с учетом указаний Нормативного метода гидравлического расчета котельных агрегатов, в следующих случаях.

Для вертикальных и слабонаклонных (до 30° от вертикали) кипятильных труб, включая экранные, котлов с естественной и многократно-принудительной циркуляцией при давлениях, не превышающих 16,0 МПа, при удельных тепловосприятиях $q_{макс} \le 400$ кВт/м^2

$$t_{ст} = t_s + 60, \ °C,$$

где t_s - температура кипения.

Температура стенки кипятильных труб, не охваченных указанными ограничениями, рассчитывается по формуле (8-01) с определением значения α_2 по п. 8-17 или по Нормативному методу гидравлического расчета котельных агрегатов; должны также учитываться указания

[1] Коэффициентом растечки в данной точке трубы называется отношение истинного превышения температуры стенки над температурой среды к величине превышения, которое имело бы место при равномерном обогреве тепловым потоком.

последнего по влиянию расслоения в трубах, ухудшения теплообмена и других нарушений режима устойчивого охлаждения стенок труб.

Для труб конвективных перегревателей котлов с рабочим давлением не более 2,5 МПа и температурой пара не выше 425 °С при максимальных удельных тепловосприятиях $q_{макс} \leq 70$ кВт/м^2

$$t_{ст} = t + 70, \ °C$$

Для труб первичных перегревателей или их участков, расположенных в зоне температур газов менее 650 °С, при коэффициенте гидравлической разверки $\rho_г \geq 0{,}95$

$$t_{ст} = t + 50, \ °C$$

Для «некипящих» конвективных экономайзеров котлов всех типов

$$t_{ст} = t + 30, \ °C,$$

где t - температура воды, °С; принимается равной для барабанных котлов температуре насыщения (с учетом колебаний питания), а для прямоточных котлов - расчетной температуре на выходе из пакета.

8-05. Средняя для элемента температура среды в расчетном сечении t принимается для испарительных поверхностей котлов докритического давления равной температуре кипения, для экранов котлов СКД, перегревателей, экономайзеров и переходных зон она подсчитывается по энтальпии в расчетном сечении

$$i = i_{вх} + \Delta i_р, \ кДж/кг, \qquad (8\text{-}03)$$

где $i_{вх}$ - энтальпия среды на входе в элемент; определяется в тепловом расчете. Если в предшествующих рассчитываемому элементу поверхностях среда перемешана не полностью и на входе в элемент имеется некоторая начальная неравномерность, энтальпия потока на входе в рассчитываемый элемент определяется с учетом ее, для чего к правой части (8-03) прибавляется выражение $a\ (\eta_{ш.пред} - 1)\Delta i_{пред}$, где индекс «пред» относится к предыдущему элементу;

$\Delta i_р$ - среднее для элемента приращение энтальпии обогреваемой среды от входа в элемент до расчетного сечения; определяется по п.п. 8-06 и 8-09.

При включении поверхности нагрева по схеме с последовательно или параллельно-смешанным током промежуточная температура сред на стыке ходов находится по указаниям п. 7-62.

8-06. Указания по расчету температуры металла стенки труб радиационных поверхностей нагрева приведены в п.п. 8-06 - 8-08. Температура стенки рассчитывается с учетом изменения энтальпии среды по высоте экрана, а также распределения тепловосприятия по высоте топки. Среднее для элемента приращение энтальпии среды от входа до расчетного сечения:

- настенные или двусветные экраны

$$\Delta i_р = \eta_ш \frac{\sum (Q_{уч} \eta_{ст}) B_р}{D_{эл}}, \ кДж/кг; \qquad (8\text{-}04)$$

- топочные ширмы

$$\Delta i_р = \eta_ш \frac{\sum Q_{уч} B_р}{D_{тр}}, \ кДж/кг, \qquad (8\text{-}04а)$$

где $\eta_ш$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента по ширине стены топки; принимается по табл. 8-2;

$\eta_{ст}$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия по стенам топки; принимается равным 1,0 для всех случаев, кроме пылеугольных топок с однофронтовым расположением горелок. Для задней стены этих топок принимается $\eta_{ст}$=1,1;

$Q_{уч}$ - тепловосприятие участка[1], кДж/кг (кДж/м^3);

$D_{эл}$ - расход среды в элементе, кг/с;

$D_{тр}$ - расход среды в рассчитываемых трубах (змеевиках) ширм, кг/с.

---

[1] В дальнейшем участком называется часть элемента с условно постоянным обогревом.

Таблица 8-2

Коэффициенты неравномерности тепловосприятия по ширине стены топки

Количество элементов по ширине стены	$\eta_ш$	$\eta_т$	
		Нижняя часть топки	Верхняя часть топки
1 - 2 и экраны со спиральной навивкой	1,0	1,3	1,2
3 - 4	1,1	1,2	1,1
более 4	1,2	1,1	1,0

Примечания.

1. Нижняя часть топки ограничивается плоскостью, удаленной от верхнего яруса горелок вверх на $0{,}2H_т$, где $H_т$ - высота топки, м.

2. Для топочных ширм значение $\eta_ш$ относится к тепловосприятию разверенной ширмы в целом и принимается так же, как для настенных экранов, в зависимости от количества ширм по ширине (глубине) топки. Коэффициент неравномерности тепловосприятия разверенных труб элемента $\eta_т$ таких ширм принимается постоянным, равным 1,2.

3. Для участков экранов, расположенных в нижней и верхней частях топки, $\eta_т$ определяется как средневзвешенное по высотам соответствующих участков.

4. При расчете приращений энтальпии в экранах со спиральной навивкой труб коэффициенты неравномерности тепловосприятия $\eta_ш$, $\eta_т$, $\eta_{ст}$ и y не учитываются. При расчете удельных тепловосприятий их значения должны учитываться.

Тепловосприятие участка определяется позонным расчетом топки. При отсутствии такого расчета принимается

$$Q_{уч} = \frac{y_{ср} q_л H_{уч.л}}{B_р}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (8\text{-}05)$$

здесь $y_{ср}$ - средний для участка коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки; определяется по табл. 8-3 и 8-4;

$H_{уч.л}$ - лучевоспринимающая поверхность участка:

- экраны топки

$$H_{уч.л} = l_{уч} bx, \text{ м}^2,$$

здесь $l_{уч}$ - длина расчетного участка, м;

b - ширина элемента между наружными образующими (серединами проставок) крайних труб, м;

x - угловой коэффициент экрана; определяется по номограмме 1;

- двусветные экраны

$$H_{уч.л} = 2l_{уч} bx, \text{ м}^2;$$

- топочные ширмы, включенные в объем топочной камеры - рассчитываются по указаниям п. 8-10;

$q_л$ - среднее удельное тепловосприятие поверхностей топки, кВт/м^2; определяется по формуле (6-37). При наличии в верхней части топки ширм, включенных при расчете теплопередачи в топке в ее объем, $q_л$ условно определяется по расчету такой же топки без ширм.

Значение $q_л$ при частичной нагрузке D определяется позонным расчетом на эту нагрузку, а при отсутствии расчета значение $q_л$ для номинальной нагрузки $D_н$ умножается для нижней части топки на $(D/D_н)^{0,3}$, а для верхней части топки на $D/D_н$.

В расчетах принимается, что распределение тепловосприятия по высоте не зависит от относительной нагрузки котла.

Таблица 8-3

Коэффициенты распределения тепловосприятия по высоте камерных топок с встречным расположением горелок

Участок	Каменные угли		Бурые угли и торф		Экибастузский уголь		Газ 1 ярус горелок		Газ 2 и 3 ярусы горелок		Мазут 1 ярус горелок		Мазут 2 и 3 ярусы горелок	
	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$
Под нижним ярусом горелок на участке высотой до $0,2H_т$[1]	0,9	1,2	0,9	1,1	0,9	1,1	1,4	1,6	0,9	1,1	1,7	1,9	1,2	1,5
Пояс горелок (зона активного горения)[2]	1,3	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,7	1,8	1,2	1,4	2,0	2,1	1,4	1,5
Высотой $0,2H_т$ от верхнего яруса горелок	1,4[3]	1,5[3]	1,25	1,3	1,2[4]	1,2[4]	1,4	1,7	1,2	1,4	1,7	2,0	1,3	1,5
Между отметками $(0,2 - 0,5)H_т$ от верхнего яруса горелок	1,0	1,3	1,2	1,3	1,1	1,2	1,0	1,1	1,1	1,3	1,0	1,5	1,0	1,2
Между отметкой $0,5H_т$ от верхнего яруса горелок и верхом топки	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8
Потолок	0,7	–	1,0	–	0,8	–	0,6	–	0,7	–	0,5	–	0,5	–

[1] Ниже указанного участка значения $y_{ср}$ и $y_{макс}$ приближенно принимаются на 0,2 меньше.
[2] Данные по пылеугольным топкам для двухярусного расположения горелок. При одноярусном принимается по $y_{макс}$ для двухярусного расположения для всех топок.
[3] При одном ярусе горелок значения увеличиваются на 0,1.
[4] Значения для двухярусного расположения горелок. При одноярусном принимается по $y_{макс}$ для двухярусного расположения для всех топок.
Примечание. $H_т$ - расчетная высота топки.

Таблица 8-4

Коэффициенты распределения тепловосприятия по высоте газомазутных топок с подовыми горелками

	Мазут		Газ	
	$y_{ср}$	$y_{макс}$	$y_{ср}$	$y_{макс}$
Между отметками (0 - 0,3)$H_т$	1,2	1,3	1,0	1,1
Между отметками (0,3 - 0,5)$H_т$	1,1	1,2	1,2	1,3
Между отметками (0,5 - 0,7)$H_т$	0,8	1,0	1,1	1,2
Между отметкой 0,7$H_т$ и верхом топки	0,6	0,7	0,7	0,8
Потолок	0,6	–	0,6	–

Примечание. $H_т$ - расчетная высота топки.

8-07. Превышение температуры среды в расчетном сечении развернной трубы над средней в элементе

$$\delta t_т = t_{макс} - t, \ °C, \qquad (8\text{-}06)$$

где t - средняя для элемента температура среды в расчетном сечении труб; определяется по п. 8-05;

$t_{макс}$ - температура среды в расчетном сечении развернной трубы элемента

$$i_{макс} = i + \left(\frac{\eta_т \eta_к}{\rho_г} - 1\right)\Delta i_р, \ кДж/кг, \qquad (8\text{-}07)$$

здесь i - энтальпия среды при средней температуре t;

$\eta_т$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия развернных труб элемента по ширине стены топки; определяется по табл. 8.2. При расположении на стене одного-двух элементов, образованных из трех и более последовательно включенных ходов, общий коэффициент неравномерности для труб, проходящих по всем ходам, принимается 1,1;

$\eta_к$ - коэффициент конструктивной нетождественности[1] (отношение обогреваемых поверхностей развернной и средней труб элемента). Если значение $H_{уч.л}$ определяется по фактической поверхности рассчитываемой трубы, $\eta_к$ в (8-07) не вводится;

$\rho_г$ - коэффициент гидравлической разверки расхода среды по трубам; находится по Нормативному методу гидравлического расчета. При оценке значения $\rho_г$ следует учитывать не только так называемый «коллекторный эффект», но и изменение расхода среды, связанное с отклонением длины трубы и/или ее коэффициента гидравлического сопротивления (например, из-за шероховатости), от средних значений в пакете.

Если раздающий коллектор рассчитываемого элемента является промежуточным и вход среды в него не обеспечивает полного перемешивания ее, то в формулу (8-07) вводится выражение, учитывающее начальную неравномерность[2] среды на входе в рассчитываемый элемент

$$i_{макс} = i + \left(\frac{\eta_т \eta_к}{\rho_г} - 1\right)\Delta i_р + a\left(\frac{\eta_т \eta_к}{\rho_г} - 1\right)_{пред} \Delta i_{пред}, \ кДж/кг, \qquad (8\text{-}07а)$$

здесь индекс «пред» относится к элементу, включенному перед рассчитываемым;

a - коэффициент, учитывающий неполноту перемешивания среды до ее поступления в рассчитываемый элемент: при проходном коллекторе, а также при большом относительном количестве подводящих труб $n_{подв}/n_{отв} \geq 0,3$ $a = 1,0$; при двустороннем вводе в торцы входного коллектора, а также при малом

[1] Особое внимание на учет $\eta_к$ следует обращать при определении тепловосприятия элементов с амбразурами горелок и лазами.

[2] Учет начальной неравномерности выполняется в соответствии с Нормативным методом гидравлического расчета котельных агрегатов.

относительном количестве распределенных по длине коллектора подводящих труб $n_{подв}/n_{отв} < 0{,}3$ $a = 0{,}5$; при одностороннем торцевом вводе или при полном перемешивании среды до входа в рассчитываемый элемент $a = 0$.

8-08. Максимальное удельное тепловосприятие настенных и двусветных экранов в расчетном сечении разверенной трубы, а также топочных ширм при любой нагрузке котла

$$q_{макс} = \eta_ш \eta_т \eta_{ст} q_c, \text{ кВт/м}^2, \quad (8\text{-}08)$$

где η - коэффициенты неравномерности; принимаются по п.п. 8-06 и 8-07;

q_c - среднее удельное тепловосприятие поверхности топки в расчетном сечении; определяется позонным расчетом. При его отсутствии

$$q_c = y_{макс} q_л, \text{ кВт/м}^2, \quad (8\text{-}09)$$

здесь $y_{макс}$ - максимальный для участка с расчетным сечением коэффициент распределения тепловосприятия по высоте топки; определяется по табл. 8-3 или 8-4.

Предельное значение тепловой нагрузки радиационных поверхностей в зоне активного горения камерных топок

$$q_{л.пред} = A q_{а.г}^{0,3} \left(1 - e^{-Bu}\right) \left(\frac{T_а}{100}\right)^2, \text{ кВт/м}^2, \quad (8\text{-}10)$$

где $A = 0{,}7$ - при сжигании пыли, 1,0 - при сжигании мазута и газа в камерных топках с настенными горелками и 0,75 - в газомазутных топках с подовыми горелками при номинальной нагрузке. Для ошипованных поверхностей значение A уменьшается вдвое;

Bu - критерий Бугера; определяется по п. 6-07;

$T_а$ - адиабатическая температура, К; определяется по п. 6-20;

$q_{а.г}$ - удельное теплонапряжение в зоне активного горения

$$q_{а.г} = \frac{B_р Q_р}{F_{а.г}}, \text{ кВт/м}^2,$$

здесь $Q_р$ - располагаемое тепло на 1 кг (1 м^3) топлива, кДж/кг (кДж/м^3);

$F_{а.г} = 2(a + b)h_{а.г}$ - площадь стен топки в зоне активного горения, м^2; a, b - ширина и глубина топки, $h_{а.г}=z_{яр} \cdot h_{яр}$ - произведение числа ярусов на расстояние между осями горелок по вертикали. При одноярусном расположении горелок условно принимается $h_{а.г}=3D_а$ или $h_{а.г}=3b_а$, где $D_а$, $b_а$ - диаметр или ширина амбразуры горелки. При подовых горелках условно принимается $h_{а.г}=0{,}3H_т$ - при сжигании мазута и $0{,}4H_т$ - при сжигании газа.

В случаях, когда значение $q_{макс}$ по (8-08) больше $q_{л.пред}$ по (8-10), следует принимать в расчете значение $q_{макс} = q_{л.пред}$.

Особенности расчета температуры стенок труб цельносварных и ошипованных экранов см. п.п. 8-20 - 8-21.

8-09. Указания по расчету температуры стенки труб ширмовых и конвективных поверхностей нагрева приведены в п.п. 8-09 – 8-19 и 8-22 – 8-23.

Температура стенки вычисляется в расчетном сечении, выбранном с учетом указаний п. 8-02. Энтальпия среды i в расчетном сечении подсчитывается по формуле (8-03), для чего определяется приращение энтальпии среды $\Delta i_р$ на участке змеевиков от входа обогреваемой среды в элемент до расчетного сечения. Этот участок, в зависимости от конструктивного выполнения элемента, может быть одиночным или включать несколько последовательно соединенных по ходу обогреваемой среды, различающихся условиями обогрева (местное тепловосприятие излучением из объема, различное количество обвязочных труб перед расчетным участком и т.п.) участков.

Среднее для элемента приращение энтальпии среды от входа в элемент до расчетного сечения

$$\Delta i_р = \eta_ш \frac{\Sigma Q_{у.ч} B_р}{D_{тр}}, \text{ кДж/кг},$$

где $\eta_ш$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия элемента по ширине газохода; принимается по табл. 8-5;

$Q_{уч}$ - тепловосприятие участка на 1 кг (1 м³) топлива

$$Q_{уч} = Q_{уч.л} + Q_{уч.к+мтр}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)};$$

$Q_{уч.л}$ - тепловосприятие излучением из топки и/или примыкающих объемов (ширм), в том числе расположенных за пакетом, независимо от того, учитывалось ли оно в тепловом расчете пакета в целом - см. п. 8-10;

$Q_{уч.к+мтр}$ - тепловосприятие конвекцией и межтрубным излучением - см. п. 8-11. Межширмовое излучение в пределах ширм также считается межтрубным и включается в $Q_{уч.к+мтр}$;

$D_{тр}$ - расход обогреваемой среды по трубам расчетного участка, кг/с, равный:

для конвективных пучков $D_{тр} = \dfrac{D\rho_г}{n_{тр}}$,

для ширм и микроблоков $D_{тр} = D\dfrac{\rho_г^{ш}\rho_г^{зм}}{n_{тр}}$,

здесь D - расход среды в элементе;

$n_{тр}$ - количество параллельно включенных труб, выходящих из коллектора;

$\rho_г^{ш}$, $\rho_г^{зм}$ - коэффициенты гидравлической разверки соответственно для ширмы (микроблока) с рассчитываемым змеевиком и для рассчитываемого змеевика в ширме (микроблоке).

Таблица 8-5

Коэффициенты неравномерности тепловосприятия по ширине газохода

Поверхность нагрева	Коэффициенты	
	$\eta_т$	$\eta_ш$
Занимающие всю ширину газохода ширмовые поверхности независимо от температуры газов, а также конвективные пакеты в области температур газов на входе выше 900 °С	$\frac{1,25^2}{1,2}$	1,0
То же, занимающие края газохода (25 - 35 % ширины с каждой стороны)[1]	$\frac{1,25^2}{1,2}$	$\frac{0,9^2}{1,0}$
То же, занимающие среднюю его часть (40 - 60 % ширины)[1]	1,2	$\frac{1,1^2}{1,0}$
Конвективные пакеты при температуре газов на входе в пакет 900 °С и ниже (независимо от расположения)	1.15	1.0
Настенные поверхности любого расположения в конвективных газоходах	1.2	1.0

[1] При расчете средних и крайних пакетов коэффициент $\eta_ш$ учитывается всегда, независимо от того раздельно или совместно определены тепловосприятия этих пакетов в тепловом расчете.

[2] В числителе для котлов паропроизводительностью 140 кг/с (500 т/ч) и меньше, в знаменателе - для котлов больше 140 кг/с. Если топка разделена двусветными экранами на отсеки, значения $\eta_т$ принимаются по паропроизводительности отсеков.

Примечание. При расчете элемента на временное сопротивление разрыву коэффициенты неравномерности тепловосприятия должны определяться с учетом указаний п. 8-01.

8-10. Тепловосприятие участка излучением из топки и/или примыкающих объемов определяется количеством и местоположением источников излучения относительно этого участка.

Например, тепловосприятие излучением из топки участка ширм (пакета), расположенных непосредственно за топкой

$$Q_{уч.л} = \frac{q_{л.в} H^{т}_{уч.л}}{B_р}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}. \qquad (8\text{-}11)$$

Тепловосприятие участка, получающего излучение из топки, прошедшее через расположенные за топкой ширмы, излучение межширмового объема и объема за ширмами

$$Q_{\text{уч.л}} = \frac{1}{B_{\text{р}}}\left[q_{\text{л.в}} H^{\text{т}}_{\text{уч.л}}\left(1-a_{\text{ш}}\right)\left(1-a_{\text{об}}\right) + q_{\text{ш}} H^{\text{ш}}_{\text{уч.л}}\left(1-a_{\text{об}}\right) + q_{\text{об}} H^{\text{об.}}_{\text{уч.л}}\right],\ \text{кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \quad (8\text{-}12)$$

где $q_{\text{л.в}}$ - тепловая нагрузка выходного окна топки, кВт/м^2; определяется позонным расчетом, а при отсутствии его - по (6-37). Учет излучения из топки на расчетный участок, «видящий» топку и расположенный непараллельно ее выходному окну, производится по (8-11) с учетом того, что температура в сечении топки перед ним определяется позонным расчетом или, при его отсутствии, - тепловосприятием зоны между потолком топки и этим сечением, равным сумме энтальпии газов на выходе из топки и рассчитанного тепловосприятия этой зоны;

$q_{\text{ш}}$, $q_{\text{об}}$ - удельные тепловосприятия излучением межширмового объема и объема за ширмами; определяются по формуле для газового объема

$$q = \sigma_{\text{о}} a \left(T^4 - T^4_{\text{уч.з}}\right)\frac{a_{\text{з}}+1}{2},\ \text{кВт/м}^2, \quad (8\text{-}13)$$

здесь $\sigma_{\text{о}}$ - см. п. 6-16;

a - степень черноты газов в объеме; определяется по (7-65). Для расчета $q_{\text{ш}}$, воспринимаемого из половины ширм, в (8-13) принимается значение a для всей ширмы;

$a_{\text{з}}$ - степень черноты загрязненных стенок; принимается $a_{\text{з}}$= 0,8;

T - средняя температура газов в объеме, К:

межширмовом, излучающим из первой половины ширм на вторую

$$T = 0{,}75T' + 0{,}25T'';$$

межширмовом, излучающим из второй половины ширм на первую

$$T = 0{,}25T' + 0{,}75T'';$$

перед, за и внутри элемента

$$T',\ T''\ \text{и}\ 0{,}5(T'+T''),$$

где T' и T'' - температуры газов на входе и выходе элемента с расчетным рядом;

$T_{\text{уч.з}}$ - средняя на участке температура загрязненной стенки; определяется по предварительно принятому значению $Q_{\text{уч}}$

$$T_{\text{уч.з}} = t + \left[\beta\left(\frac{\delta}{\lambda_{\text{м}}}\frac{2}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}\right) + \varepsilon_{\text{уч}}\right]\frac{B_{\text{р}} Q_{\text{уч}} \cdot 10^3}{H_{\text{уч.п}}} + 273,\ \text{К}, \quad (8\text{-}14)$$

где $H_{\text{уч.п}}$ - полная поверхность нагрева участка; определяется по длине участка $l_{\text{уч}}$ в соответствии с указаниями п. 7-01, с нижеприведенными уточнениями:

- поверхность нагрева участка крайних труб ширм, а также труб, ограничивающих внутренний объем, при разрыве между рядами более $2s_2$

$$H_{\text{уч.п}} = l_{\text{уч}}\left(s_2 x_2 + 1{,}57d\right)n,\ \text{м}^2,$$

здесь x_2 - угловой коэффициент труб ширмы, зависящий от их продольного шага; определяется по кривой 5 номограммы 1а или, при $1{,}0<\sigma_2<1{,}6$, по формуле $x_2 = 1 - 0{,}45\left(\sigma_2 - 1\right)$. Это же значение x_2 используется при определении поверхности нагрева труб остальных рядов ширмы;

n - количество змеевиков (при Т-образной компоновке общее на котел);

- поверхность нагрева вертикальных участков обвязочных труб ширмы, не выступающих из ранжира, определяется как для труб ширмы с учетом их местоположения в пакете;
- поверхность нагрева выступающих из ранжира участков обвязочных труб, расположенных в пределах ширмы по глубине, определяется (приближенно) по их полной поверхности;

$\varepsilon_{\text{уч}}$ - коэффициент загрязнения труб участка, м^2·К/Вт - см. п. 8-18;

Значение $T_{\text{уч.з}}$ уточняют при расхождении предварительно принятого и найденного значений $Q_{\text{уч}}$ более 5 %;

$H_{\text{уч.л}}$ - поверхность нагрева участка, воспринимающего излучение из топки (ширм, объема)

$$H_{\text{уч.л}} = l_{\text{уч}} b x_{\text{р}} \frac{n}{n+1}, \text{ м}^2,$$

здесь $l_{\text{уч}}$ - длина расчетного участка;

b - ширина газохода в плоскости, перпендикулярной ширмам (змеевикам);

$x_{\text{р}}$ - угловой коэффициент ряда труб с расчетным участком. Определяется по порядковому номеру ряда труб с расчетным участком относительно топки (ширм, объема). Номер ряда отсчитывается от источника излучения без учета разрывов между пакетами или внутри них (с учетом этого положения значения $H^{\text{ш}}_{\text{уч.л}}$ и $H^{\text{об}}_{\text{уч.л}}$ в формуле (8-12) равны между собой). Значения $x_{\text{р}}$ определяются для ширм по табл. 7-1, для конвективных пучков - по табл. 7-2.

Если ряд труб с расчетным участком отделен от источника излучения (топки, ширм) пакетом (ширмами) с поперечными шагами труб, отличающимися от шагов пакета, в котором размещен ряд с расчетным участком, результирующее значение углового коэффициента $x_{\text{рез}}$ оценивается приближенно по зависимости

$$x_{\text{рез}} = (1 - \sum x_{\text{р.пред}}) x_{\text{р.св}},$$

где $\sum x_{\text{р. пред}}$ - сумма угловых коэффициентов рядов предыдущего пакета (ширм) от источника излучения до границы этого пакета (ширм); определяется по табл. 7-1 или 7-2;

$x_{\text{р.св}}$ - угловой коэффициент ряда в рассчитываемом элементе.

При значении произведения $\sigma_1 x_{\text{р}} < 0{,}2$ излучением источника можно пренебречь (при использовании значений $x_{\text{рез}}$ значение σ_1 принимается для рассчитываемого ряда). Эта рекомендация учтена при формировании таблиц 7-1 и 7-2.

При размещении фестона в газовом объеме излучение объема учитывается следующим образом: при угловом коэффициенте фестона $x_{\text{ф}} \le 0{,}7$ степень черноты и теплота излучения определяются для всего объема; при угловом коэффициенте $x_{\text{ф}} > 0{,}7$ степень черноты и теплота излучения вычисляются для каждой части объема. Суммарная теплота излучения объема при $x_{\text{ф}} > 0{,}7$ определяется с учетом частичного поглощения фестоном и прилегающим к расчетному участку объемом теплоты другой части объема

$$Q_{\text{л.об}} = Q_{\text{л.ч1}} + \left(1 - x_{\text{ф}}\right)\left(1 - a_{\text{ч1}}\right) Q_{\text{л.ч2}}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)},$$

где $a_{\text{ч1}}$ - степень черноты прилегающей к расчетному участку части объема.

Эффективная толщина излучающего слоя определяется при $x_{\text{ф}} \le 0{,}7$ с учетом поверхности всех труб фестона, а при $x_{\text{ф}} > 0{,}7$ с учетом половины поверхности труб одного ряда фестона в каждой части объема (7-67).

Излучение на расположенные в пределах ширины ширмы участки обвязочных труб, оси которых примерно параллельны направлению лучистого потока, не учитывается.

При расположении обвязочных труб перпендикулярно направлению лучистого потока излучение учитывается только на первые по отношению к источнику излучения трубы с угловым коэффициентом $0{,}5x_{\text{р}}$, где $x_{\text{р}}$ -угловой коэффициент первого ряда труб ширмы.

Излучение внутреннего объема, глубиной равной или более $4s_2$ для ширм и 0,25 м для конвективных пакетов учитывается так же, как от источника, лежащего вне элемента. В этом случае обе части пакета, разделенные объемом, рассматриваются как отдельные источники, излучающие друг на друга. Удельное тепловосприятие из внутреннего объема рассчитывается по формуле (8-13).

8-11. Тепловосприятие участка конвекцией и межтрубным излучением

$$Q_{\text{уч.к+мтр}} = \frac{\left(\alpha_{\text{к}} H_{\text{уч.л}} + \alpha_{\text{уч.л}} H_{\text{уч.р}}\right)\left(\vartheta_{\text{ср}} - t_{\text{з}}\right)_{\text{уч}}}{B_{\text{р}}} \cdot 10^{-3}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (8\text{-}15)$$

где $\alpha_к$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией для пакета в целом. Для ширмовых поверхностей $\alpha_к$ умножается на соотношение полной и расчетной поверхности труб (если в тепловом расчете пакета он определялся без поправки на это соотношение):

$\pi / (\sigma_2 x_2 + 1{,}57)$ - для крайних рядов, а также средних рядов при разрыве более $2s_2$;

$\pi / (2\sigma_2 x_2)$ - для остальных рядов;

$\alpha_{уч.л}$ - коэффициент теплоотдачи межтрубным (межширмовым) излучением участка; рассчитывается по разделу 7-Б,в без поправки на излучение прилежащего объема, вводимой по п. 7-40, по значению $\vartheta_{уч.ср}$ и толщине слоя в пакете. Допускается принимать значение степени черноты среднее в пакете;

$\vartheta_{уч.ср}$ - средняя на участке температура газов; принимается равной полусумме температур при входе в участок и выходе из него, °С. При размещении участка в одном ряду труб $\vartheta_{уч.ср}$ равна температуре газов на входе в ряд. Она либо принимается из теплового расчета, либо определяется по формулам (8-18);

$t_{уч.з}$ - средняя на участке температура загрязненной стенки, °С; определяется по п. 8-10;

$H_{уч.п}$ - определяется по п. 8-10;

$H_{уч.р}$ - расчетная поверхность участка; приближенно оценивается по зависимости

$$H_{уч.р} = H_{уч.п} - K_1 H'_{уч.л} - K_2 H''_{уч.л}, \text{ м}^2,$$

здесь $H'_{уч.л}$ и $H''_{уч.л}$ - лучевоспринимающие поверхности расчетного участка от ближайших по отношению к расчетному участку источников излучения;

$K_1 = 1$ - для всех рядов ширм от источника, расположенного перед расчетным участком;

$K_1 = 0{,}5$ - то же для всех рядов конвективных пакетов;

$K_2 = 0{,}5$ - для всех рядов ширм от источника, расположенного за расчетным участком;

$K_2 = 0{,}2$ - то же для всех рядов конвективных пакетов.

8-12. Энтальпия среды в расчетном сечении разверенной трубы ширмовых и конвективных пакетов рассчитывается по формуле (8-07). Значение коэффициента $\eta_т$ принимается по табл. 8-5, величина $\Delta i_р$ определяется по п. 8-09. Превышение температуры среды в разверенной трубе над средней $\delta t_т$ определяется по формуле (8-06).

8-13. Максимальное удельное тепловосприятие труб поверхностей нагрева приходится в различных случаях на разные точки окружности трубы. Для типовых случаев местоположение максимума принимается по табл. 8-6.

Максимальное удельное тепловосприятие разверенной трубы в расчетном сечении

$$q_{макс} = \eta_ш \eta_т q_о, \text{ кВт/м}^2, \qquad (8\text{-}16)$$

где $\eta_ш$ и $\eta_т$ - коэффициенты неравномерности тепловосприятия элемента и разверенной трубыпо ширине газохода; определяются по табл. 8-5;

$q_о$ - среднее для ряда удельное тепловосприятие в точке его максимального значения в расчетном сечении

$$q_о = \frac{\vartheta_р - t}{\beta\mu\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{\beta+1} + \frac{1}{\alpha_2}\right) + \frac{1}{\alpha_1} + 0{,}25\varepsilon_{уч}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт/м}^2, \qquad (8\text{-}17)$$

где $\vartheta_р$ - температура газов на входе в расчетный ряд; принимается из теплового расчета пакета или оценивается приближенно по одной из следующих зависимостей:

$$\vartheta_р = \vartheta' - (\vartheta' - \vartheta'')\frac{z'_{2уч.п}}{z_{2уч.п}}, \text{ °С}, \qquad (8\text{-}18а)$$

$$\vartheta_р = \vartheta'' + (\vartheta' - \vartheta'')\frac{z''_{2уч.п}}{z_{2уч.п}}, \text{ °С}, \qquad (8\text{-}18б)$$

здесь $z_{2уч.п}$, $z'_{2уч.п}$, $z''_{2уч.п}$ - количество рядов труб по ходу газов: общее в пакете, до расчетного сечения и после него. При переменных в пакете диаметрах или

поперечных шагах труб используются фактические значения $z_{2уч.пк}$, $z'_{2уч.п}$ и $z''_{2уч.п}$;

ϑ', ϑ'' - температура газов на входе в пакет и выходе из него. Для участков ширмы, «видящих» топку и расположенных не параллельно ее выходному сечению, ϑ' определяется в сечении топки перед ними;

$\varepsilon_{уч}$ - коэффициент загрязнения участка, м²·К/Вт; определяется по п. 8-18;

α_1 - коэффициент теплоотдачи от греющей среды к стенке в точке максимального тепловосприятия в расчетном сечении, Вт/(м²·К)

$$\alpha_1 = \kappa_{тр}\alpha_к + \alpha_л, \qquad (8\text{-}19)$$

здесь $\alpha_к$, $\alpha_л$ - коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением; находятся по п.п. 8-14, 8-15 при температуре газов $\vartheta_р$ и эффективной толщине слоя в рассчитываемой поверхности;

$\kappa_{тр}$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия конвекцией по окружности трубы. При поперечном омывании принимается по табл. 8-6 в зависимости от вида поверхности, формы пучка и порядкового номера ряда с расчетной точкой. Для продольно омываемых и всех настенных труб $\kappa_{тр} \approx 1$.

Остальные обозначения - см. формулу (8-01).

Таблица 8-6

Коэффициент неравномерности тепловосприятия по окружности трубы при поперечном омывании

№ ряда[1]	Коридорный пучок		Шахматный пучок		Ширмы	
	Угол между лобовой точкой и точкой с максимальным тепловосприятием α, град	Коэффициент неравномерности по окружности трубы $\kappa_{тр}$	α град	$\kappa_{тр}$	α град	$\kappa_{тр}$
1	0	1,6	0	1,6	0	1,6
2	60	1,7	0	1,7	60	2,3
3	60	1,5	0	1,5	60	2,2
≥4	60	1,4	0	1,6	60	2,2
Последний ряд пучка при наличии газового объема за пучком[2]	180	1,0	180[2] 0	1,0 1,6	180[2] 60	2,2 2,0

[1] В случаях, когда рассматриваемый пучок (часть пучка) удален от предыдущего на величину более $2s_2$, счет рядов пучка начинают сначала и соответственно определяют все величины.

[2] При высокозольных топливах (сланцы) максимум тепловосприятия в точке 180 град, при беззольных топливах (газ, слоевое сжигание) - в точках 0 или 60 град; в остальных случаях следует проверять значение q_0 для обеих точек.

8-14. Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ в расчетном сечении средний по окружности трубы, Вт/(м²·К), определяется по разделу 7-Б,б с учетом ее расположения по глубине пучка:

C_z для труб первого ряда всех пучков (фестона) и ширм - как для трехрядного пучка;

C_z для труб второго ряда пучков (фестона) - как для пятирядного пучка;

C_z=1 для труб второго ряда ширм, третьего и последующих рядов всех поверхностей нагрева.

Для настенных труб, расположенных в области ширм и конвективных пакетов, $\alpha_к$ определяется по средним условиям в пакетах (объемах); для настенных труб, расположенных в газовых объемах на удалении более $3s_2$ от пакетов, где s_2 - продольный шаг труб в пакете, значение $\alpha_к$ принимается равным нулю.

8-15. Коэффициент теплоотдачи излучением на точку с максимальным удельным тепловосприятием в расчетном сечении определяется в зависимости от условий облучения этой точки.

Например, для точки, получающей излучение топки, прошедшее через расположенные за топкой ширмы, а также излучение ширм и объема за ширмами

$$\alpha_л = \frac{q_{л.в}\varphi_т(1-a_ш)(1-a_{об}) + q_ш\varphi_ш(1-a_{об}) + q_{об}\varphi_{об}}{\vartheta_р - t_з}\cdot 10^3 + \alpha_{л.мтр},\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad (8\text{-}20)$$

где $\varphi_т, \varphi_ш, \varphi_{об}$ - коэффициенты облученности точки с максимальным тепловосприятием из топки, ширм и объема; определяются по указаниям п. 8-16;

$\vartheta_р$ - температура газов на входе в расчетный ряд - см. п. 8-13;

$t_з$ - средняя для ряда температура загрязненной стенки в точке с максимальным удельным тепловосприятием. После определения $\alpha_л$ предварительно заданное значение $t_з$ проверяется по формуле

$$t_з = t_{н.ср} + 0{,}25\varepsilon_{уч}q_o 10^3,\ °C, \qquad (8\text{-}21)$$

где среднее для ряда значение температуры наружной поверхности трубы в этой точке

$$t_{н.ср} = t + \beta\mu q_o 10^3\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}\right),\ °C. \qquad (8\text{-}22)$$

Значение $\alpha_л$ уточняется в тех случаях, когда $t_з$, определенное по (8-21) отличается от предварительно заданного более чем на 25 °С.

Для труб первого ряда ширм (пучка), расположенных непосредственно за топкой, формула (8-20) преобразуется к виду

$$\alpha_л = \frac{q_{л.в}}{\vartheta_р - t_з}\cdot 10^3,\ \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Для труб первого и последнего - точка 180° - рядов пучка (ширм), расположенных за (перед) объемом, в том числе внутренним, из формулы (8-20) исключается член $\alpha_{л.мтр}$.

Для настенных труб, расположенных в области ширм и конвективных пакетов $\alpha_л$ определяется по средним условиям в пакетах (объемах); для настенных труб, расположенных в газовых объемах на удалении более $3s_2$ от пакетов, где s_2 - продольный шаг труб в пакете, значение $\alpha_л$ определяется по излучению объема.

8-16. Коэффициент облученности φ точки с максимальным тепловосприятием в расчетном сечении определяется в зависимости от компоновки пакета и номера ряда труб с расчетным сечением относительно внешнего источника излучения и межширмового объема.

Для труб первого за источником излучения ряда пакета, а также для тыльной образующей труб последнего перед объемом ряда принимается $\varphi = 1$.

Для труб со второго по четвертый ряд коридорных пучков с $\sigma_1 \le 5{,}0$ и для труб всех рядов ширм φ оценивается приближенно по зависимости

$$\varphi \approx 0{,}38\,\mathrm{arctg}\frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_2(z-1)}$$

где σ_1, σ_2 - относительные шаги труб в пучке (ширме);

z - номер ряда по ходу газов;

значение $\mathrm{arc\,tg}\dfrac{\sigma_1 - 1}{\sigma_2(z-1)}$ - в радианах.

Для труб со второго по пятый ряд шахматных пучков φ определяется по номограмме 22, для труб пятого и последующих рядов труб коридорных пучков и труб шестого и последующих рядов шахматных пучков принимается $\varphi = 0$.

8-17. Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде и пару α_2, включая его значения для области ухудшенного теплообмена и оценку ее границ, должен определяться по Нормативному методу гидравлического расчета, в том числе котлов СКД на скользящем давлении по

Руководящим указаниям «Проектирование котлов СКЛ на скользящем давлении» НПО ЦКТИ, Ленинград, 1988.

В табл. 8-7 приводятся рекомендации для расчета α_2 в основных, часто встречающихся элементах поверхностей нагрева вне критических областей. Расчет элементов, не охваченных табл. 8-7, следует проводить по указанным источникам или опытным данным.

Таблица 8-7

Коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде α_2

Давление среды в расчетном сечении $p_р$, МПа	Энтальпия среды в расчетном сечении i, кДж/кг	Расчетная формула и /или номограмма для α_2, Вт/(м²·К)	Примечание
$p_р \le 22$	$i \le i'_s$ $i \ge i''_s$	(7-55), номограммы 12, 13	—
$p_р \le 22$	$i'_s < i < i''_s$	для окисленных труб $\alpha_2 = \frac{1}{\frac{0,46}{\alpha_ч} + 0,43 \cdot 10^{-4}}$, (8-23) для нержавеющих (чистых) труб $\alpha_2 = \alpha_ч$ $\alpha_ч = \sqrt{\alpha_к^2 + 0,5\alpha_о^2 \left[1 + 7 \cdot 10^{-9} \left(\frac{r w_{см} \rho'}{q_{вн}}\right)^{3/2}\right]}$, (8-24) $\alpha_о = 4,34 q_{вн}^{0,7} (p_р^{0,14} + 1,37 \cdot 10^{-2} p_р^2)$	$q_{вн} = \beta\mu q_{макс}$ $\alpha_к$ - для воды при t_s по скорости циркуляции - (7-55) или номограмме 13. $w_{см} = w'_о + w''_о$, где $w'_о = \frac{w\rho(1-x)}{\rho'}$; $w''_о = \frac{w\rho x}{\rho''}$
$p_р > 22$	$840 \le i \le 2800$	$\alpha_2 = 0,023 \frac{\lambda}{d_{вн}} \left(\frac{w d_{вн}}{\nu}\right)^{0,8} Pr_{мин}^{0,8}$, (8-25) где $Pr_{мин}$-меньшее из значений числа Pr, определенных по температурам стенки и потока	$\frac{q_{вн} \cdot 10^{-3}}{w\rho} \le 0,39$
$p_р > 22$	$840 \le i \le 2800$	$\alpha_2 = \alpha_{840} A$, где α_{840} - по формуле (7-55), в которой значения физических характеристик принимаются при $i = 840$ кДж/кг	$0,39 < \frac{q_{вн} 10^{-3}}{w\rho} \le 0,84$ $A = f(i, \frac{q_{вн}}{w\rho})$ по номограмме 23. $A \le 1,5$
$p_р > 22$	$i > 2800$	(7-55), номограмма 12	—

В табл. 8-7 приняты следующие обозначения:

λ, ν - коэффициенты теплопроводности и динамической вязкости сред при расчетной энтальпии, Вт/(м·К), м²/с;

Pr - критерий Прандтля среды при расчетной энтальпии;

w - объемная скорость среды, м/с;

$w\rho$ - массовая скорость среды, кг/(м²·с);

$d_{вн}$ - внутренний диаметр трубы, м;

$q_{вн}$ - удельное тепловосприятие на внутренней поверхности трубы, Вт/м²;

x - массовое паросодержание;

i'_s - энтальпия воды на кривой кипения, кДж/кг;

i''_s - энтальпия пара на кривой насыщения, кДж/кг;

r - теплота парообразования, кДж/кг;

ρ - плотность, кг/м^3.

8-18. Коэффициент загрязнения труб участка принимается для ширм по указаниям п.п. 7-42 и 7-43. Для конвективных пакетов рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{уч} = \frac{(1-\psi)(\vartheta_{ср} - t_{ср})_{уч} H_{уч.п}}{Q_{уч} B_р \cdot 10^3}, \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}, \qquad (8\text{-}26)$$

где ψ - коэффициент эффективности; определяется по разделу 7-Б,г;

$\vartheta_{уч.ср}$ - средняя температура газов на участке, °С; см. п. 8-11;

$t_{уч.ср}$ - средняя температура обогреваемой среды на участке, °С;

$Q_{уч} B_р$ - тепловосприятие участка, кВт; см. п. 8-09;

$H_{уч.п}$ - полная поверхность нагрева участка, м^2; см. п. 8-10.

Для настенных труб, расположенных в газовых объемах, значение $\varepsilon_{уч}$ принимается равным: 0,005 - для твердых топлив, 0,003 - для жидких топлив, 0 - для газа;

8-19. Значение коэффициента растечки тепла μ зависит от компоновки пакета, номера ряда труб, критерия $\text{Bi} = \dfrac{\alpha_2 d}{2\beta\lambda_м}$ и отношения наружного и внутреннего диаметров трубы β.

Значения μ определяются:

для труб первого ряда конвективных пучков с $s_1/d \le 3$ при шахматном и коридорном расположении и второго ряда шахматных пучков при любом s_1/d - по номограмме 24а;

для труб третьего и последующих рядов шахматных пучков и, начиная со второго ряда, коридорных пучков - по номограмме 24б.

При расчете труб первого ряда шахматных фестонированных ($s_1/d \ge 3$) и ширмовых перегревателей растечка тепла не учитывается (μ=1), для труб остальных рядов ширмовых перегревателей значение μ определяется по линии s/d=1,1 номограммы 25.

Для тыльной образующей труб последнего ряда ширм и шахматных пучков растечка не учитывается, а для труб последнего ряда коридорных пучков - по номограмме 24б.

При расчете труб настенных радиационных поверхностей, независимо от их расположения относительно обмуровки ($e \ge 0$), коэффициент растечки определяется по номограмме 25, для труб двусветных экранов и топочных ширм - по номограмме 26.

8-20. Расчет температуры металла стенок труб цельносварных экранов.

Приняты следующие определения:

трубы соединяются в цельносварную панель проставками;

половина проставки, прилегающая к трубе, называется плавником, независимо от технологии изготовления труб и панелей.

Расчетные формулы приведены для следующих условий:

проставка соединяет трубы одинакового диаметра;

температура среды и коэффициенты теплоотдачи одинаковы в обеих свариваемых трубах;

проставка, соединяющая трубы, расположена в диаметральной плоскости трубы.

8-20.1. Температура стенки в лобовой точке трубы радиационных поверхностей определяется как для гладких труб. При этом коэффициент растечки для настенных экранов определяется по номограмме 25, для двусветных экранов и топочных ширм - по номограмме 27.

Температура в середине проставки

$$t_с = t_к + \kappa_с \Delta t_{пр}, \text{ °С}, \qquad (8\text{-}27)$$

где $\kappa_с$ - коэффициент учета влияния сварных швов. Для проставок, приваренных токами радиочастоты, и для экрана из металлургических плавниковых труб $\kappa_с$ =1. Для проставок, приваренных под слоем флюса, $\kappa_с$ определяется по номограмме 28б.

$t_к$ - температура в корне проставки:

- настенные экраны

$$t_к = t + \delta t_т + \beta\mu_к q_{макс} 10^3 \left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}\right), \text{ °С}; \qquad (8\text{-}28)$$

- двусветные экраны и топочные ширмы

$$t_к = t + \delta t_т + 2\beta\mu_к q_{макс}\, 10^3\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{1+\beta}+\frac{1}{\alpha_2}\right),\ °C, \qquad (8\text{-}29)$$

здесь $\mu_к$ - коэффициент растечки в корне проставки определяется по формуле

$$\mu_к = 0{,}35 + 0{,}1\frac{\delta_к}{d} + \kappa_\alpha \kappa_\beta \kappa_s,$$

здесь d - наружный диаметр труб, м;

κ_α, κ_β, κ_s - коэффициенты; определяются по номограмме 29;

$\delta_к$ и δ_c - толщина корня и середины проставки, м.

При смещенной от оси трубы проставке ($u/d \neq 0{,}5$) значение $\mu_к$ в (8-28) умножается на поправку[1] c_u, определяемую по номограмме 28а.

Остальные обозначения - см. формулу (8-01).

$\Delta t_{пр}$ - перепад температур между серединой и корнем проставки:

- настенные экраны

$$\Delta t_{пр} = \mu_c \frac{q_{макс}\, 10^3 h}{\lambda_{пр}} A,\ °C; \qquad (8\text{-}30)$$

- двусветные экраны и топочные ширмы

$$\Delta t_{пр} = \frac{q_{макс}\, 10^3 h}{2\lambda_{пр}}\left[\left(\mu_c + \Delta\mu_c\right)\frac{h}{\delta_c} + 0{,}25\left(3\mu_c - \Delta\mu_c\right)\frac{\delta_c}{h}\right],\ °C.$$

где μ_c - коэффициент растечки в середине проставки; определяется по номограмме 30;

$\Delta\mu_c$ - поправка на двустороннее облучение; определяется по номограмме 32;

$2h$ - ширина проставки, м;

$\lambda_{пр}$ - коэффициент теплопроводности металла проставки, Вт/(м·К); определяется по табл. 8.1 при температуре проставки $t_{пр}$=0,5(t_c + $t_к$). Приближенно можно принять $t_{пр}$ = t+100, °С;

A - коэффициент формы плавника; определяется по номограмме 31.

8-20.2. Температура стенки в лобовых точках трубы стены, отделяющей топку от конвективного газохода, определяется для обеих сторон стены как для гладких труб настенных экранов, но для стороны, обращенной в конвективный газоход, коэффициент растечки принимается по номограмме 33.

Температура в корне проставки вычисляется по формуле

$$t_к = t + \delta t_т + \beta\left(\mu_{1к} q_{1макс} + \mu_{2к} q_{2макс}\right)\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{\beta+1}+\frac{1}{\alpha_2}\right)\cdot 10^3,\ °C \qquad (8\text{-}31)$$

где $q_{1макс}$, $q_{2макс}$ - удельные тепловосприятия, кВт/м^2, для сторон, обращенных в топку и в конвективный газоход;

$\mu_{1к}$, $\mu_{2к}$ - коэффициенты растечки для сторон, обращенных в топку и в конвективный газоход; определяются по номограммам 29 и 34.

Превышение температуры середины проставки над температурой корня прямоугольного плавника вычисляется по формулам:

- для стороны, обращенной в топку

$$\Delta t_{пр} = \frac{h}{2\lambda_{пр}}\left[\left(q_{1макс}\,\mu_c + q_{2макс}\right)\frac{h}{\delta_c} + 0{,}25\left(3q_{1макс}\,\mu_c - q_{2макс}\right)\frac{\delta_c}{h}\right]\cdot 10^3,\ °C; \qquad (8\text{-}32а)$$

[1] Значения c_u проверены для области $s/d \geq 1{,}3$; $1{,}2 \leq \beta \leq 1{,}8$; $2{,}0 \leq Bi \leq 10$

- для стороны, обращенной в конвективный газоход

$$\Delta t_{пр} = \frac{h}{2\lambda_{пр}}\left[\left(q_{1макс}\,\mu_c + q_{2макс}\right)\frac{h}{\delta_c} + 0{,}25\left(3q_{2макс} - q_{1макс}\,\mu_c\right)\frac{\delta_c}{h}\right]\cdot 10^3,\ °C, \quad (8\text{-}32б)$$

где μ_c - определяется по номограмме 30.

Для трапециевидного плавника $\Delta t_{пр}$ приближенно вычисляется как для прямоугольного такой же высоты и равной площади сечения.

8-21. Расчет температуры металла стенки ошипованных труб радиационных поверхностей нагрева.

Средняя по толщине стенки трубы температура металла под шипом

$$t_{ст} = t + \delta t_т + A\left(\mu, \psi, f\right)q_{макс}\,\beta\cdot 10^3\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{1}{\beta+1} + \frac{1}{\alpha_2}\right),\ °C; \quad (8\text{-}33)$$

температура трубы в основании шипа

$$t_{ст.н} = t + \delta t_т + A\left(\mu, \psi, f\right)q_{макс}\,\beta\cdot 10^3\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{\beta+1} + \frac{1}{\alpha_2}\right),\ °C, \quad (8\text{-}34)$$

где A - комплекс; определяется по номограмме 36б;

f - площадь шипования, м^2:

экранная поверхность $\quad f = 0{,}785\dfrac{nd_ш^2}{ss_ш}$;

шлакоулавливающий пучок $\quad f = 0{,}785\dfrac{nd_ш^2}{2\left(d + 2l_ш\right)s_ш}$;

здесь n, $s_ш$ - соответственно число рядов шипов на трубе и продольный шаг шипов, м;

$s, d, l_ш, d_ш$ - шаг и диаметр труб, длина и диаметр шипов, м;

ψ - коэффициент концентрации теплового потока в основании шипа, определяемый в зависимости от $f, \lambda_н / \lambda_ш, l_ш / d_ш$ по номограмме 35. В рабочей области температур значения коэффициентов теплопроводности можно принимать по табл. 8-8.

Таблица 8-8

Элемент	Материал	λ, Вт/(м·К)
Набивка ($\lambda_н$)	Карборундовая	5,8
	Хромитовая	1,7
	Корундовая	1,2
	Хромомагнезитовая	1,2
Шипы ($\lambda_ш$)	Углеродистая сталь	34
	12Х1МФ	30
	Сихромалевая сталь	24

μ - коэффициент растечки; определяется по номограмме 36а при параметрах $\dfrac{d}{s_ш}, \dfrac{d_ш}{d}$,

$\beta = \dfrac{d}{d - 2\delta}$, $\mathrm{Bi} = \dfrac{\alpha_2 d}{2\beta\lambda_м}$ в зависимости от числа рядов шипов (два или больше).

8-22. Расчет температуры металла стенки мембранных ширмовых и конвективных поверхностей нагрева.

При расчете температурного режима принято отношение усредненных тепловых нагрузок трубы и ребра (проставки) $q_{тр} / q_{рб} = 1{,}22 / \mathrm{E}$, где E - коэффициент эффективности ребра.

Средняя (по толщине) температура металла стенки разверенной трубы

$$t_{ст} = \frac{t + \delta t_т + \eta_ш \eta_т \theta_{ст} \vartheta_р}{1 + \eta_т \eta_ш \theta_{ст}}, \ °C, \qquad (8\text{-}35)$$

где $\eta_ш$, $\eta_т$ - коэффициенты неравномерности тепловосприятия элемента и разверенной трубы по ширине газохода; определяются по табл. 8-5;

$\theta_{ст}$ - безразмерная температура стенки по формуле (8-38);

$\vartheta_р$ - температура газов на входе в расчетный ряд, °С;

t - средняя для элемента температура среды в расчетном сечении, °С;

$\delta t_т$ - превышение температуры среды в разверенной трубе над средней в элементе в расчетном сечении, °С.

Температура в корне ребра (проставки)

$$t_к = \frac{t + \delta t_т + \eta_ш \eta_т \theta_к \vartheta_р}{1 + \eta_т \eta_ш \theta_к}, \ °C, \qquad (8\text{-}36)$$

где $\theta_к$ - безразмерная температура там же; определяется по формуле (8-41).

Температура в середине проставки

$$t_с = \vartheta_р - \theta_с(\vartheta_р - t_к), \ °C, \qquad (8\text{-}37)$$

где $\theta_с$ - безразмерная температура там же; определяется по формуле (8-43).

Безразмерная температура стенки трубы определяется по формуле

$$\theta_{ст} = A_{ст} \frac{h_{рб}}{\delta_{рб}} \mathrm{Bi}_1, \qquad (8\text{-}38)$$

где $A_{ст}$ - функция безразмерных параметров (Bi_2, $h_{рб}/\delta_{рб}$, $\delta_{рб}/d$, β, $m/h_{рб}$)

$$A_{ст} = \gamma_1 \gamma_6 - \gamma_3 \gamma_7. \qquad (8\text{-}39)$$

$$\mathrm{Bi}_1 = \frac{\alpha_1 d}{2\lambda_м}; \qquad \gamma_1 = \frac{4}{\pi} \mathrm{E}\left(\frac{q_{тр}}{q_{рб}} \frac{\delta_{рб}}{2h_{рб}} \psi + \frac{\delta_{рб}}{d}\right); \qquad \gamma_3 = \frac{2}{\pi} \mathrm{E}\left(1 - \frac{q_{тр}}{q_{рб}} \frac{\delta_{рб}}{2h_{рб}}\right);$$

$$\gamma_6 = \ln\left(\frac{\beta + 1}{2}\right) + \frac{1}{\mathrm{Bi}_2}; \qquad \gamma_7 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin 2i\psi}{i^2} \frac{\frac{\beta+1}{2\beta}\beta^{4i} + \frac{2i - \mathrm{Bi}_2}{2i + \mathrm{Bi}_2}}{\beta^{4i} - \frac{2i - \mathrm{Bi}_2}{2i + \mathrm{Bi}_2}} \cos i\pi,$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\delta_{рб}}{d}; \qquad \mathrm{Bi}_2 = \frac{\alpha_2 d_{вн}}{2\lambda_м}; \qquad \mathrm{E} = \frac{\mathrm{th}(mh_{рб})}{mh_{рб}}.$$

здесь d, $\delta_{рб}$, $h_{рб}$ - диаметр трубы, толщина и высота ребра, равная половине ширины проставки, м;

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_1}{\delta_{рб}\lambda_{рб}}}, \qquad (8\text{-}40)$$

где $\alpha_1 = (\psi_{рб}\alpha_к + \alpha_л)K_t$, Вт/(м²·К);

$\psi_{рб}$ определяется по разделу 7-09.1;

$\alpha_к$ и $\alpha_л$ принимаются из теплового расчета.

Для панелей со сваркой ребер в проставку сплошным швом $K_t = 1{,}05$; при сварке прерывистым швом (электрозаклепки) $K_t = 1{,}15$.

По формулам (8-39) построены номограммы 37, 38 и 40 для определения $\gamma_1, \gamma_3, \gamma_7$.

Безразмерная температура в корне ребра (проставки) определяется по формуле

$$\theta_к = A_к \frac{h_{рб}}{\delta_{рб}} \mathrm{Bi}_1, \qquad (8\text{-}41)$$

где $A_к$ - функция безразмерных параметров (Bi_2, $h_{рб}/\delta_{рб}$, $\delta_{рб}/d$, β, $m/h_{рб}$)

$$A_к = \gamma_1\gamma_2 - \gamma_3\gamma_4 ,$$

здесь $\gamma_2 = \ln\beta + 1/Bi_2$; $\gamma_4 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin 2i\psi}{i^2} \frac{\beta^{4i} + \frac{2i - Bi_2}{2i + Bi_2}}{\beta^{4i} - \frac{2i - Bi_2}{2i + Bi_2}} \cos i\pi$; (8-42)

По формуле (8-42) построена номограмма 39 для определения γ_4.

Безразмерная температура в середине проставки

$$\theta_c = \frac{2}{e^{mh} + e^{-mh}} . \quad (8\text{-}43)$$

По формуле (8-43) построена номограмма 41.

Тепловосприятие расчетных участков конвекцией и межтрубным излучением определяется по п. 8-11. Значения $\alpha_к$ и $\alpha_л$, полученные из теплового расчета, умножаются на соотношения:

$\frac{H_{тр}}{H}\psi_{тр} + \frac{H_{рб}}{H}E\psi_{рб}$ - для $\alpha_к$, $\frac{H_{тр}}{H} + \frac{H_{рб}}{H}E$ - для $\alpha_л$,

где H, $H_{тр}$ и $H_{рб}$ - поверхности нагрева: полная, труб и ребер (проставок), м^2.

Полная поверхность нагрева расчетного участка ширмовой поверхности определяется по п. 8-10, конвективной поверхности - по формулам:

крайние ряды $H_{уч.п} = (\pi d l_{уч} - \delta_{рб} l_{рб})n + 2h_{рб} l_{рб} n$, м^2,

остальные ряды $H_{уч.п} = (\pi d l_{уч} - \delta_{рб} l_{рб})n + 4h_{рб} l_{рб} n$, м^2,

где $l_{уч}$ - длина расчетного участка;

$l_{рб}$ - длина ребра (проставки) на расчетном участке;

n - количество змеевиков.

Расчетная поверхность нагрева участка определяется по п. 8-11.

При определении лучевоспринимающей поверхности ребра (проставки) не учитываются.

Значения углового коэффициента ряда $x_р$, в котором размещен расчетный участок, определяются для ширм по табл. 7-1, для конвективных пучков - по табл. 7-2. Номер ряда, кроме первого, приближенно оценивается по зависимости

$$N \approx (z-1)\frac{s_2}{d},$$

где z - порядковый номер рассчитываемого ряда. Значение z округляется до целого числа в меньшую сторону.

Тепловосприятие расчетных участков излучением топки, межширмовых объемов и «пустых» газовых объемов от входа обогреваемой среды до расчетного сечения определяется по п. 8-10.

Температура наружной поверхности разверенной трубы

$$t_{ст.н} = t + \delta t_т + \frac{t_{ст} - (t + \delta t_т)}{\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}}\left(\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}\right), \text{ °C.} \quad (8\text{-}44)$$

Обозначения - см. формулу (8-02).

8-23. Расчет температуры металла стенки поперечно оребренных труб.

Температура наружной поверхности трубы в корне ребра

$$t_{ст.н} = t + \delta t_т + \beta\mu q_{макс}\cdot 10^3\left(\theta_к\frac{\delta}{\lambda_м}\frac{2}{\beta+1} + \frac{1}{\alpha_2}\right), \text{ °C,} \quad (8\text{-}45)$$

где $\theta_к$ - отношение перепада температур между наружной и внутренней стенками несущей трубы в сечении, проходящем через середину ребра, к среднему по длине трубы значению этого перепада

$$\theta_к = 1 + 0{,}5\frac{S_{рб} - \delta_{рб}}{\delta};$$

μ - коэффициент растечки тепла; принимается μ =1.

Тепловосприятие расчетных участков конвекцией и межтрубным излучением определяется по п. 8-11. Значение $\alpha_к$, определенное в тепловом расчете, умножается на соотношение

$$\frac{H_{тр}}{H} + \frac{H_{рб}}{H} E \mu \varphi_E.$$

Среднее для ряда удельное тепловосприятие q_o в точке его максимального значения в расчетном сечении определяется по (8-17).

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_1 = \kappa_{тр}\alpha_{1пр} + \varphi_т\alpha_л, \quad Вт/(м^2 \cdot К), \qquad (8\text{-}46)$$

где $\kappa_{тр}$ - коэффициент неравномерности тепловосприятия по окружности трубы; принимается $\kappa_{тр}$=1,3;

$\alpha_{1пр}$ - приведенный коэффициент теплоотдачи с оребренной стороны, отнесенный к полной поверхности несущей трубы; определяется по (7-21);

$\alpha_л$ - коэффициент теплоотдачи, учитывающий тепло, получаемое излучением от расположенного перед пучком газового объема. Учитывается только для первого и второго рядов шахматного пучка и первого ряда коридорного пучка и определяется по п. 8-10 (при определении лучевоспринимающей поверхности поверхность ребер не учитывается);

$\varphi_т$ - коэффициент облученности точки с максимальным тепловосприятием; определяется по п. 8-16 как для гладких труб;

Остальные обозначения - см. формулы (8-01) и (7-21).

Температура в вершине ребра

$$t_в = \vartheta_р - (\vartheta_р - t_{ст.н})\frac{I_0(mr_e)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_e)}{I_0(mr_1)K_1(mr_e) + I_1(mr_e)K_0(mr_1)}, \quad °C, \qquad (8\text{-}47)$$

где I_0, I_1, K_0, K_1 - функции Бесселя для аргументов mr; их значения определяются по табл. 8-9;

r_1 - наружный радиус трубы;

r_e - условный радиус оребрения:

круглые ребра $\quad r_e = \dfrac{D + \delta_{рб}}{2},$

квадратные ребра $\quad r_e = \dfrac{C\sqrt{2} + \delta_{рб}}{2}.$

Температура внутренней поверхности трубы

$$t_2 = t + \delta t_т + \beta q_{макс}\frac{1}{\alpha_2}, \quad °C. \qquad (8\text{-}48)$$

Средняя по толщине температура стенки трубы

$$t_{ст} = t + \delta t_т + \beta q_{макс} 10^3\left(\theta_к \frac{\delta}{\lambda_м}\frac{1}{1+\beta} + \frac{1}{\alpha_2}\right), \quad °C. \qquad (8\text{-}49)$$

8-24. Для предупреждения чрезмерных выбегов температуры стенки при ухудшенных условиях эксплуатации определяется, помимо обычного расчета, температура стенки $t'_{ст}$, соответствующая временному увеличению неравномерности тепловосприятия. По этой температуре дополнительно проверяется прочность. Результаты проверки не вносят в расчеты, представляемые с паспортом котла.

Таблица 8-9

Модифицированные функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков $I_0(x)$ и $I_1(x)$ и второго рода нулевого и первого порядков $K_0(x)$ и $K_1(x)$

x = mr	I_0 (x)	K_0 (x)	I_1 (x)	K_1 (x)
0,0	1,000	∞	0	∞
0,1	1,003	2,447	0,050	9,854
0,2	1,010	1,753	0,101	4,776
0,3	1,023	1,373	0,152	3,056
0,4	1,040	1,115	0,204	2,184
0,5	1,064	0,924	0,258	1,656
0,6	1,092	0,775	0,314	1,303
0,7	1,126	0,661	0,372	1,050
0,8	1,166	0,565	0,433	0,862
0,9	1,213	0,487	0,497	0,717
1,0	1,266	0,421	0,565	0,602
1,2	1,394	0,318	0,715	0,435
1,4	1,553	0,244	0,886	0,320
1,6	1,750	0,188	1,085	0,241
1,8	1,989	0,159	1,317	0,183
2,0	2,279	0,114	1,591	0,140
2,5	3,289	0,062	2,517	0,0739
3,0	4,881	0,0347	3,395	0,0402
3,5	7,378	0,0196	6,206	0,0222
4,0	11,302	0,0112	9,759	0,0125
4,5	17,481	0,0064	15,389	0,00708
5,0	27,240	0,0037	24,336	0,00404

При определении $t'_{ст}$ значения средней для элемента температуры газов и среды, а также коэффициентов теплопередачи принимаются такими же, как в основном расчете температуры стенки; величины коэффициентов неравномерности $\eta_т$ и $\eta_ш$ (табл. 8-2 и 8-5) повышаются на величину $\Delta\eta$.

Значение $\Delta\eta$ для радиационных поверхностей выбирается из табл. 8-10 в зависимости от типа элементов (панелей).

Таблица 8-10

Тип элементов (панелей)	$\Delta\eta$
Одноходовые	0,25
Многоходовые	0,2
Мембранные стенки	0,15

Для ширмовых и конвективных поверхностей значение $\Delta\eta$ принимается в зависимости от вида топлива: $\Delta\eta$ = 0,15 - при сжигании газа, $\Delta\eta$ = 0,25 - при сжигании всех топлив, кроме газа.

Величина $q_{макс}$ радиационных поверхностей, как и в основном расчете, не должна превышать значений $q_{л.пред}$, рассчитанных по п. 8-08.

Приведенное напряжение в трубе от внутреннего давления может превышать не более, чем на 20 % величину номинального допускаемого напряжения при температуре стенки $t'_{ст}$ (при определении допускаемого напряжения по тем же данным и с тем же коэффициентом запаса, по которым оно принималось при расчете прочности при температуре $t_{ст}$). Если расчетное превышение окажется больше 20 %, необходимы перекомпоновка элементов поверхностей нагрева, дополнительные точки перемешивания обогреваемой среды, увеличение скорости и другие изменения, а в отдельных случаях изменение толщины стенок или материала труб.

Температура наружной поверхности при расчете $t'_{ст}$ не ограничивается.

Температура обогреваемых труб при повышенных коэффициентах неравномерности тепловосприятия определяется для следующих режимов:

а) поверхности нагрева с энтальпией $i > 2700$ кДж/кг на выходе из разверенной трубы при номинальной нагрузке котла на топливе, на котором получена наибольшая расчетная температура стенки; температура питательной воды - номинальная;

б) поверхности нагрева с энтальпией $i \leq 2700$ кДж/кг на выходе из разверенной трубы при номинальной нагрузке для минимальной (растопочной) нагрузки на растопочном топливе.

При расчете на частичных нагрузках температура питательной воды для котлов блочных установок принимается соответствующей данному режиму, а для котлов неблочных установок - номинальной.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА КОТЛА

9-А. Порядок и последовательность расчета

9-01. При конструктивном расчете котла или отдельных его элементов по заданным температурам дымовых газов и обогреваемой среды определяется тепловосприятие каждого элемента, после чего рассчитываются температурный напор и коэффициент теплопередачи, а из уравнения теплообмена (см.п. 7-01) находится величина поверхности нагрева.

9-02. При поверочном расчете котла неизвестны не только промежуточные температуры дымовых газов и внутренней среды, но и искомые температуры уходящих газов, подогрева воздуха и иногда перегрева пара. Для выполнения расчета приходится уточнять их путем последовательных приближений.

При поверочном расчете отдельных поверхностей обычно задаются температура (энтальпия) каждой из сред только на одном конце поверхности нагрева. Энтальпии сред на другом конце определяются путем последовательных приближений.

9-03. При оценке точности расчета следует учитывать, что некоторые величины, например, коэффициент теплопередачи определяются со значительной погрешностью. Поэтому нет необходимости выполнять расчет с большей точностью, чем рекомендовано ниже, так как это лишь увеличит объем вычислительной работы.

9-04. При поверочном расчете поверхности предварительно оценивают конечную температуру (энтальпию) одной из сред и по уравнению теплового баланса (п. 7-02) определяют тепло-восприятие поверхности и конечную температуру (энтальпию) другой среды (7-03 - 7-05). После этого рассчитывают коэффициент теплопередачи, температурный напор и по уравнению тепло-обмена (7-01) величину тепловосприятия поверхности нагрева, отнесенного к 1кг (1м^3) топлива.

Если полученное из уравнения теплообмена значение тепловосприятия $Q_т$ отличается от определенного по уравнению баланса $Q_б$ не более, чем на 2 %, расчет поверхности не уточняется. В отдельных случаях, указанных ниже, допускается увеличение невязки. Окончательными считаются температура и тепловосприятие, вошедшие в уравнение баланса.

При большем расхождении $Q_т$ и $Q_б$ принимают новое значение конечной температуры и повторяют расчет.

Если при первом приближении величина $Q_т$ оказалась больше $Q_б$, то значение конечной температуры для второго приближения принимается таким, чтобы разница между температурами дымовых газов на входе и выходе была больше, чем при первом приближении, и наоборот.

Если для второго приближения выбирается значение температуры газов, отличающееся от принятого при первом приближении не более чем на 50 °С, коэффициент теплопередачи можно не пересчитывать. Следует пересчитать только температурный напор и заново решить уравнения баланса и теплообмена.

Если после второго приближения расхождение $Q_т$ и $Q_б$ окажется больше указанного предела, искомую температуру находят линейной интерполяцией.

Если найденное интерполяцией значение температуры газов отличается от того, по которому определялся коэффициент теплопередачи не более чем на 50 °С, то для завершения расчета необходимо по этой температуре уточнить только тепловосприятие и искомую температуру тепловоспринимающей среды из уравнения баланса. При большем расхождении необходимо по этой температуре повторить весь расчет.

9-05. Поверочный расчет котла при одноступенчатой компоновке хвостовых поверхностей нагрева рекомендуется вести в следующей последовательности.

Оцениваются температуры уходящих газов и подогрева воздуха, определяются тепловые потери, КПД котла и расход топлива. После этого рассчитываются температуры газов на выходе из топки и методом последовательных приближений - за последующими поверхностями нагрева, до экономайзера.

Расчет тепловосприятия экономайзера производится при известной температуре газов на входе в него, определенной расчетом предыдущей поверхности, и температуре воды на входе в экономайзер. Путем последовательных приближений рассчитываются температуры газов и воды за экономайзером.

При расчете воздухоподогревателя известны температуры газов на входе (из расчета экономайзера) и воздуха, подаваемого в тракт. Путем последовательных приближений определяются температуры уходящих газов и горячего воздуха. Если полученная температура уходящих газов отличается от принятой в начале расчета не более чем на ±10 °С, а температура горячего воздуха не более чем на ± 40 °С, расчет теплообмена можно считать законченным и найденные температуры окончательными, так как следующее приближение уточнит их не более, чем на 2-3 °С. (При ошибке в оценке температуры подогретого воздуха до 40 °С температура на выходе из топки изменится не более чем на ± 10 °С, что практически не сказывается на точности расчета последующих поверхностей).

С учетом найденного значения температуры уходящих газов уточняется потеря тепла с уходящими газами, КПД котла и расход топлива. По полученной температуре горячего воздуха и температуре газов на выходе из топки (см. гл. 6) уточняется тепловосприятие поверхностей топки, отнесенное к 1 кг (1 м^3) топлива.

Определяется невязка теплового баланса котла

$$\Delta Q = Q_р \eta_к + Q_ф + Q_{в.вн} - \left(Q_л + Q_к + Q_{пе} + Q_{пп} + Q_{эк} + Q_{изб}\right)\left(1 - \frac{q_4}{100}\right),$$

кДж/кг (кДж/м^3), (9-01)

где количество тепла, воспринятое на 1 кг (1 м^3) топлива :

$Q_л$ - в топке;

$Q_к$, $Q_{пе}$, , $Q_{эк}$ - котельными пучками и фестонами, перегревателем (кроме радиационного), промперегревателями и экономайзером; Q подставляется без учета тепла, воспринятого в топке,

$Q_{изб}$ - избыточным воздухом.

Остальные обозначения - см. п. 5-14.

В формулу подставляют значения, определенные из уравнений баланса. Величина невязки не должна превышать 0,5 % от $Q_р$.

Если температуры уходящих газов и (или) воздуха отличаются от принятых в начале расчета более, чем на ± 10 °С и ± 40 °С соответственно, расчет необходимо повторить. Для этого новые значения температур уходящих газов и горячего воздуха приравнивают к найденным из первого расчета или близкими к ним. Если расхождение значений температуры уходящих газов, принятых при первом и втором приближениях, приводит к изменению расчетного расхода топлива не более чем на 2 %, коэффициенты теплопередачи поверхностей при втором приближении можно не пересчитывать. Уточняются только температуры, температурные напоры и тепловосприятия.

9-06. Порядок поверочного расчета при двухступенчатой компоновке хвостовых поверхностей нагрева котла в основном такой же, как указано в п. 9-05. Ниже изложены необходимые его изменения.

После расчета всех поверхностей нагрева, расположенных по ходу газов до второй по ходу воды ступени экономайзера, известна только температура газов на входе в эту ступень. Нужно задаться энтальпией воды на выходе из экономайзера

$$i''_{эк} \approx \frac{D}{D_{эк}}\left(i_{пе} + \Delta i_{по}\right) - \frac{B_р}{D_{эк}}\left(Q_л + Q_к + Q_{пе} + Q_{пп}\right), \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (9\text{-}02)$$

где $i_{пе}$ - энтальпия перегретого пара перед главной паровой задвижкой, кДж/кг;

$D_{эк}$ - расход воды через экономайзер, кг/с;

$\Delta i_{по}$ - тепловосприятие пароохладителя с впрыском «собственного» конденсата или поверхностного при возврате охлаждающей воды в экономайзер, кДж/кг. Если охлаждающая вода из пароохладителя вводится в пароводяной тракт за экономайзером, то в формуле (9-02) $\Delta i_{по}$ не учитывается.

Остальные обозначения те же, что в п. 9-05.

По найденной величине $i''_{эк}$ определяется температура воды на выходе из экономайзера. По ней и известной температуре газов на входе рассчитывается вторая ступень экономайзера.

Температура газов на входе во вторую по ходу воздуха ступень воздухоподогревателя известна из расчета предыдущей поверхности. Эта ступень рассчитывается по значению температуры горячего воздуха, принятому в расчете топки.

Первая ступень экономайзера рассчитывается по известной из расчета предыдущей по ходу газов поверхности нагрева температуре газов и заданной температуре воды на входе в ступень.

Последовательными приближениями определяются температуры газов и воды на выходе из рассчитываемой ступени экономайзера; в общем случае найденная температура на выходе из первой ступени может не совпадать с рассчитанной температурой воды на входе во вторую ступень.

Расчет первой ступени воздухоподогревателя ведется по известной из расчета предыдущей поверхности температуре газов и заданной температуре воздуха на входе в воздухоподогреватель. Последовательными приближениями определяются температуры уходящих газов и горячего воздуха на выходе из рассчитываемой ступени.

Если полученная температура уходящих газов отличается от принятой не более чем на ± 10 °С, но любая из невязок между промежуточными значениями температур воды и воздуха превышает ± 10 °С, необходимо повторить расчет экономайзера и воздухоподогревателя. При этом, в отличие от предыдущего расчета, вторые ступени экономайзера и воздухоподогревателя рассчитываются по температурам воды и воздуха на входе, которые принимаются равными температурам на выходе из первых ступеней, определенным при первом приближении.

При отклонении полученной в результате расчета температуры уходящих газов от принятой больше, чем на ± 10 °С, следует повторить расчет всего котла. Рекомендуется температуру подогрева воздуха принимать близкой значению, которое получилось бы при первом приближении, если к температуре воздуха на выходе из первой ступени воздухоподогревателя прибавить расчетный перепад температур воздуха во второй ступени. Такая последовательность, как правило, позволяет при выполнении расчета котла ограничиться двумя приближениями.

9-07. Расчет тепловосприятия небольших (до 10 %) дополнительных поверхностей, включенных параллельно или последовательно (по ходу газов) с основными поверхностями (настенные экраны конвективных газоходов, подвесные трубы перегревателя, отводящие трубы экономайзера на стенах или потолке газоходов и т.п.), рекомендуется упростить.

Коэффициент теплопередачи для дополнительной поверхности принимается таким же, как для основной, независимо от их конструктивного выполнения. Тепловосприятие оценивается и прибавляется к величине тепловосприятия основной поверхности при определении конечной температуры газов. Принятая величина тепловосприятия дополнительной поверхности проверяется с учетом значения температурного напора в ней.

Температурный напор для дополнительной поверхности, расположенной параллельно (по ходу газов) основной, принимается равным разности средних температур газов в газоходе и теплоносителя в дополнительной поверхности, а для расположенной последовательно (по ходу газов) - равным разности температуры газов на выходе из газохода и средней температуры теплоносителя в дополнительной поверхности.

Для дополнительной поверхности допускается расхождение принятой и определенной величин тепловосприятия до ±10 %.

Если дополнительная поверхность составляет не более 5 % основной, она отдельно не рассчитывается, а объединяется с поверхностью трубного пучка, последовательно соединенного с нею по внутренней среде.

Поверхность труб, расположенных у обмуровки, принимается равной поверхности стены, занятой трубами, умноженной на угловой коэффициент x, определяемый по номограмме 1 для настенных экранов.

Поверхности нагрева, расположенные в объеме поворотной камеры (подвесные трубы, отводящие трубы конвективных пучков и т.п.), рассчитываются как основные, по полной наружной поверхности. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке определяется как для коридорного пучка с коэффициентом использования 0,7. Расчетное живое сечение принимается равным поперечному сечению горизонтального газохода на входе в камеру. Эффективная толщина излучающего слоя определяется по (7-67).

9-Б. Расчет топки

9-08. При конструктивном расчете мощных котлов габариты топки определяются размером поверхности нагрева, обеспечивающей заданную температуру газов на выходе из топки - в сечении перед ширмовым пакетом, а при отсутствии ширм - перед фестоном (конвективным пучком). Температура выбирается по условию обеспечения отсутствия шлакования указанных

поверхностей. Тепловое напряжение объема топки q_v не должно быть выше допустимого по условиям горения - табл. XVIII-XXI. При определении q_v объем ширм в верхней части топки при шаге ширм $s_1 \geq 700$ мм включается в объем топки. Размеры топочной камеры выбираются в соответствии с рекомендациями Приложения II.

Для котлов малой мощности объем топки при конструктивном расчете находится по допустимому теплонапряжению q_v - таблицы XVIII и XX. Далее определяется температура газов на выходе из топки (камеры догорания) $\vartheta''_т$ и сравнивается с допустимой, или по заданному значению $\vartheta''_т$ рассчитываются $F_{ст}$ и $\psi_{ср}$. Последнее характерно для малых топок, у которых по условиям работы не требуется сплошное экранирование стен.

9-09. Расчет температуры газов на выходе из топки при заданных конструктивных характеристиках производится по формуле (6-35) или номограмме 4.

Для этого определяют активный объем и поверхность стен топки, находят параметр M, рассчитывают критерии Bu и $B\tilde{u}$, принимают коэффициент тепловой эффективности экранов. При определении Bu и $(Vc)_{ср}$ предварительно задают значение температуры на выходе из топки. Если полученная из номограммы 4 или формулы (6-35) выходная температура газов отличается от принятой более, чем на ±100 °С, следует уточнить величины Bu и $(Vc)_{ср}$ по найденному значению температуры газов и повторить расчет.

9-10. Поверхность стен топки $F_{ст}$ при заданной температуре $\vartheta''_т$ может быть рассчитана по (6-36). Следует задать величины среднего коэффициента тепловой эффективности экранов и коэффициента M и определить критерий $B\tilde{u}$. После расчета поверхности стен и уточнения размеров топки необходимо проверить соответствие принятого и полученного в результате расчета значения коэффициента тепловой эффективности; расхождение их не должно превышать ± 5 % величины ψ.

9-11. После определения суммарного тепловосприятия топки, в случае необходимости, производится разбивка его по участкам в соответствии с разделением поверхностей нагрева по ходу внутренней среды. Обычно нужно знать распределение тепловосприятия по высоте топки. Удельное тепловосприятие участка стен топки определяется по (6-37), а значение коэффициента распределения тепловосприятия по высоте топки $y_в$ принимается по табл. 8-3 и 8-4.

9-В. Расчет перегревателя

9-12. В современных котлах средней и большой мощности котельные пучки обычно отсутствуют. Поэтому ниже приводятся рекомендации применительно к перегревателям, однако ими можно пользоваться и при расчете котельных пучков котлов малой мощности. Конвективные и ширмовые перегреватели рассчитываются примерно одинаково по указаниям раздела 9-А.

В расчете перегревателя необходимо учесть тепловосприятие пароохладителей, изменение расхода пара через поверхность из-за впрыска, наличия параллельной ветки и т. п., а также тепло, полученное излучением из топки, которое определяется по уравнению (7-06). Если между топкой и перегревателем расположен пучок или фестон, $Q_л$ определяется с учетом тепла, воспринятого им, по п. 7-04. Влажность насыщенного пара для котлов современных конструкций принимается равной нулю.

9-13. При расчете перегревателя по частям давление на границах между ними приближенно оценивается, исходя из значений давления, заданных на концах перегревателя.

При наличии пароохладителей расчет на номинальную нагрузку ведется с учетом их включения. Указания по расчету перегревателя при различных способах регулирования температуры перегрева приведены в п.п. 9-24—9-26.

9-14. При наличии в газоходе перегревателя другой, относительно небольшой поверхности, которую в соответствии с указаниями п. 9-07 следует рассчитывать отдельно, величина Q, определяемая по (7-02), вычисляется с учетом тепловосприятия этой поверхности.

9-15. Температурный напор подсчитывается в зависимости от конструктивного выполнения перегревателя и взаимного направления потоков газов и пара по рекомендациям раздела 7-В.

9-16. Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ при поперечном омывании труб газами (воздухом) определяется в зависимости от типа и конструктивных особенностей пучка.

Для участков продольного омывания $\alpha_к$ определяется по номограмме 11; предварительно по (7-56) рассчитывается эквивалентный диаметр газохода.

Примеры условной разбивки смешанно омываемых пучков на продольно и поперечно омываемые участки приведены на рис. 7-5.

Коэффициент теплоотдачи во всех случаях рассчитывается по среднеарифметическому значению температуры и скорости среды в пучке. При косом омывании пучка — по п. 7-23.

9-17. Коэффициент загрязнения или коэффициент тепловой эффективности перегревателя находится по 7-Б,г. Температура загрязненной стенки перегревателя определяется по формулам (7-68) или (7-69). Можно не уточнять $t_з$, если отклонение предварительно принятой величины Q не выше ±10 % от расчетной.

9-18. Коэффициент теплоотдачи излучением определяют по формулам (7-62)—(7-64) или номограмме 18.

Излучение газовых объемов, расположенных до или внутри перегревателя, учитывается по п. 7-40. Излучение газовых объемов на перегреватель, расположенных за ним, не учитывается.

9-19. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к пару α_2, ввиду малого его влияния на величину коэффициента теплопередачи, может определяться упрощенно.

Для расчета α_2 удельный объем пара определяется при средней его температуре. Среднее давление пара в перегревателе (его части) принимается равным полусумме давлений на входе и выходе. Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару α_2 определяется по номограмме 12.

При расчете перегревателей котлов сверхкритического давления и котельных пучков термическое сопротивление $1/\alpha_2$ можно не учитывать.

9-20. Коэффициент теплопередачи перегревателя в зависимости от его конструкции и вида сжигаемого топлива определяется по п.п. 7-07—7-09. При смешанном омывании - по п. 7-11.

9-21. Если при поверочном расчете значение $Q_т$ отличается от величины $Q_б$ более чем на 2 % (при отсутствии средств регулирования температуры - более чем на 3 %), необходимо повторить расчет в соответствии с указаниями п. 9-04. При этом α_2 не пересчитывается.

По конечной температуре газов по (7-02) определяют тепловосприятие перегревателя и по (7-03) уточняют температуру пара на выходе из рассчитываемой ступени.

9-22. Если тепло, отданное газами перегревателю, вычислено с учетом тепловосприятия дополнительной поверхности (п. 9-07), $Q_{доп}$ после расчета перегревателя проверяется по формуле

$$Q_{доп} = \frac{H_{доп} k(\vartheta - t)}{B_р} 10^{-3}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \qquad (9\text{-}03)$$

где $H_{доп}$ - омываемая газами дополнительная поверхность нагрева, м^2;

k - коэффициент теплопередачи перегревателя, Вт/(м^2·К);

ϑ, t - температуры газов в перегревателе и обогреваемой среды в дополнительной поверхности нагрева, °С.

9-23. Тепловосприятие радиационных (настенных) перегревателей рассчитывается так же, как экранных поверхностей. Удельное тепловосприятие поверхности радиационного перегревателя $q_{л.пе}$ определяется позонным расчетом, а в случае его отсутствия используется коэффициент распределения тепловосприятия $y_з$ и формуле (6-37). Тепловосприятие, отнесенное к 1кг (1м^3) топлива

$$Q_{л.пе} = \frac{q_{л.пе} H_{л.пе}}{B_р}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}. \qquad (9\text{-}04)$$

После определения $Q_{л.пе}$ по заданной энтальпии пара на входе в перегреватель из уравнения баланса (7-04) получаем конечную энтальпию и температуру пара.

9-24. При установке поверхностного пароохладителя на стороне насыщенного пара, если задана величина влажности пара перед перегревателем (1–x), начальная энтальпия пара

$$i' = i''_s - r(1 - x), \text{ кДж/кг}, \qquad (9\text{-}05)$$

где r - теплота парообразования при давлении в барабане котла, кДж/кг.

Если тепловосприятие пароохладителя задано количеством тепла, отдаваемым 1 кг пара охлаждающей воде, $\Delta i_{по}$, начальная энтальпия пара подсчитывается по формуле

$$i' = i''_s - \Delta i_{по}, \text{ кДж/кг}. \qquad (9\text{-}06)$$

Допустимость определения температурного напора в перегревателе без учета начальной влажности проверяется по (7-86).

При установке поверхностного или впрыскивающего пароохладителя «в рассечку» пароперегревателя температурный напор рассчитывается раздельно для обеих частей по фактическим температурам в них, при этом учитывается снижение температуры и энтальпии пара при переходе из одной части перегревателя в другую. Коэффициент теплопередачи можно принять общим для всех последовательно расположенных по ходу газов конструктивно одинаковых частей перегревателя.

При установке впрыскивающих пароохладителей «в рассечку» расход пара D_{i-1} через предвключенные (по ходу пара) части перегревателя меньше, чем через следующие за ними части перегревателя D_i на количество впрыскиваемой воды ΔD

$$\Delta D = D_i - D_{i-1} = D_i \frac{\Delta i_{по}}{i''_{i-1} - i_{впр}}, \quad \text{кг/с,} \qquad (9\text{-}07)$$

где $\Delta i_{по} = i''_{i-1} - i'_i$, кДж/кг;

i''_{i-1} - энтальпия пара на выходе из предвключенной по ходу пара части перегревателя, т.е. при входе в пароохладитель;

i'_i - энтальпия пара при выходе из пароохладителя, т.е. при входе в последующую по ходу пара часть перегревателя;

$i_{впр}$ - энтальпия среды, впрыскиваемой в пароохладитель.

При конструктивном расчете перегревателя с пароохладителем, установленным «в рассечку», задаются температурой пара на выходе из предвключенной (по ходу пара) части перегревателя и величиной $\Delta i_{по}$. Остальные балансовые величины определяются из уравнений (7-02), (7-03) и (9-06).

При поверочном расчете вначале рассчитывается первая по ходу газов часть перегревателя. Если она является предвключенной пароохладителю по ходу пара, то предварительно задаются величиной ΔD, если последующей по ходу пара - значением $\Delta i_{по}$.

9-25. При газовом регулировании перегрева с пропуском части газов мимо перегревателя конструктивный расчет производится следующим образом: по заданной части газов, проходящих через перегреватель, определяются энтальпия и температура газов за перегревателем и рассчитывается его поверхность. При наличии в обводном газоходе поверхности нагрева она рассчитывается по соответствующей доле пропускаемых газов. Распределение газов в основном и обводном газоходах находится методом последовательных приближений. При отсутствии в обводном газоходе какой-либо поверхности следует проверить, достаточна ли для получения заданной температуры перегрева поверхность перегревателя при пропуске через него полного количества газов с учетом протечек при закрытых шиберах обводного газохода. Энтальпия газов на выходе из параллельных газоходов определяется по энтальпиям газов за каждым из газоходов по (7-09).

9-26. При наличии паропаровых теплообменников для регулирования температуры вторичного пара необходимо предварительно оценить количество тепла, передаваемого первичным паром. После расчета уточняются тепловосприятия теплооменника и ступеней первичного перегревателя, расположенных за отбором пара на теплообменник.

9-Г. Расчет фестона

9-27. Под фестоном понимается поверхность нагрева с числом рядов труб не более четырех и с поперечным относительным шагом труб $\sigma_1 \geq 2$. При расчете фестона температура газов за ним должна быть увязана с условиями обеспечения надежной работы перегревателя.

9-28. Фестон, в том числе образованный из смещенных вдоль потока газов труб экрана, рассчитывается как обычный конвективный пучок.

Для однорядного фестона коэффициент теплоотдачи конвекцией рассчитывается как для первого ряда шахматного пучка с коэффициентом $C_s = 1{,}0$. При числе рядов более одного – в соответствии с указаниями раздела 7-В.

9-29. Если расхождение между значениями тепловосприятий по уравнениям баланса и теплопередачи не превышает для фестона 5 %, расчет не уточняется. Если отличие больше, расчет следует повторить в соответствии с указаниями п. 9-04.

9-Д. Расчет промежуточного перегревателя

9-30. Расчет промежуточного перегревателя ведется по заданным количеству пара и параметрам на входе в тракт и не отличается, в основном, от расчета первичного.

Особенность вносит наличие паропаровых или газопаровых теплообменников. При их установке тепло, отданное газами пару, рассчитывается по формуле

$$Q = \frac{D_{пп}}{B_р}(i''_{пп} - i'_{пп}) - Q_{то}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \quad (9\text{-}08)$$

где $Q_{то}$ - количество тепла, воспринятое в теплообменнике вторичным паром на 1кг (1м^3) топлива.

9-31. При расчете газопаровых теплообменников коэффициент теплопередачи для определения тепловосприятия от первичного пара рассчитывается так же, как для ППТО, а для определения тепловосприятия по газовой стороне - как для обычных трубных пакетов, омываемых газами. Температурный напор вычисляется по температурам греющих сред (газов или первичного пара) при одинаковой для обеих сред температуре вторичного пара, рассчитываемой с учетом его тепловосприятия методом последовательных приближений.

9-32. При наличии впрыска в тракт промперегревателя расход пара на выходе из него больше заданного расхода через промперегреватель на величину впрыска.

9-Е. Расчет экономайзера и газоводяных подогревателей (ГВП)

9-33. При конструктивном расчете экономайзера энтальпии газов и воды на входе известны. Тепловосприятие определяется из уравнения баланса

$$Q_{эк} = \left(Q_р \eta_к + Q_ф + Q_{в.вн}\right) \cdot \frac{100}{100 - q_4} - \left(Q_л + Q_к + Q_{пе} + Q_{пп} + Q_{изб}\right),$$

кДж/кг (кДж/м^3), (9-09)

обозначения - см. п. 9-05.

9-34. При поверочном расчете входные энтальпии газов и воды обычно известны. Порядок расчета экономайзера описан в п.п. 9-05 и 9-06.

9-35. Расчет водяного экономайзера и газоводяных подогревателей ПГУ (ГВП ВД, ГВП НД), в основном, совпадает с расчетом перегревателя. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по (7-15в). Величина термического сопротивления по водяной стороне $1/\alpha_2$ не учитывается.

В расчет вводятся фактические значения расхода воды через поверхность с учетом продувки, пропуска воды через пароохладитель (при параллельном включении пароохладителя и экономайзера), а также частичного обвода регенеративных подогревателей питательной водой и энтальпии воды на входе в экономайзер $i'_{вх}$ (при возврате воды из пароохладителя в экономайзер). Последняя определяется по формуле

$$i'_{вх} = i_{п.в} + \Delta i_{по} \frac{D}{D_{эк}}, \text{ кДж/кг}, \quad (9\text{-}10)$$

где $i_{п.в}$ - энтальпия питательной воды;

$\Delta i_{по}$ - перепад энтальпий пара в пароохладителе (из расчета перегревателя);

D, $D_{эк}$ - расход среды через перегреватель и экономайзер, кг/с.

9-36. Температурный напор в экономайзере определяется с учетом взаимного направления потоков газов и воды.

При частичном испарении воды в экономайзере расчет ведется по условной температуре воды на выходе (см. п. 7-63). По ней же определяется средняя температура воды для расчета температуры стенки.

9-37. Для ребристых экономайзеров ВТИ и ЦККБ коэффициент теплопередачи и поверхность нагрева принимаются по номограмме 5.

9-Ж. Расчет воздухоподогревателя

9-38. При одноступенчатой компоновке воздухоподогреватель рассчитывается как одно целое, при компоновке «в рассечку» каждая часть рассчитывается отдельно.

9-39. Баланс тепла по газовой и воздушной сторонам воздухоподогревателя сводится по формулам (7-02) и (7-05).

Расчет ведется по действительному расходу воздуха (с учетом избыточного воздуха, перетечек, обводов, рециркуляции, отборов).

В случае подогрева всего воздуха в воздухоподогревателе величина $\beta'_т$ на входе в топку определяется по (4-43).

Величина β'_i для i-той ступени трубчатого воздухоподогревателя, если в воздухоподогревателе нет промежуточных отборов и подводов воздуха

$$\beta'_i = \beta''_{вп} + \sum_i^k \Delta\alpha . \qquad (9\text{-}11)$$

где $\beta''_{вп}$ - отношение количества воздуха на выходе из воздухоподогревателя к теоретически необходимому;

k - индекс, обозначающий выходную ступень воздухоподогревателя;

$\Delta\alpha$ - утечки воздуха из ступеней воздухоподогревателя, принимаемые равными присосам по газовой стороне.

«Горячая» и «холодная» части регенеративного воздухоподогревателя рассчитываются по среднему для воздухоподогревателя значению

$$\beta_{ср} = \beta''_{вп} + 0{,}5\Delta\alpha_{вп},$$

где $\Delta\alpha_{вп}$ - суммарная перетечка воздуха в газовый тракт.

Если воздухоподогреватель выполнен по каскадной схеме, то расчет его ступеней ведется с учетом фактической доли воздуха $q_в$, пропускаемого через каждую ступень.

9-40. В тех случаях, когда температура воздуха на входе в воздухоподогреватель повышается за счет рециркуляции части подогретого воздуха, отношение количества рециркулирующего воздуха к теоретически необходимому определяется приближенно

$$\beta_{рц} = \left(\beta''_{вп} + \Delta\alpha_{вп}\right)\frac{t'_{вп} - t_{х.в}}{t''_i - t'_{вп}}, \qquad (9\text{-}12)$$

где $\Delta\alpha_{вп}$ - утечка воздуха из воздушных каналов во всем воздухоподогревателе;

$t_{х.в}, t'_{вп}, t''_i$ - температуры воздуха холодного, на входе в воздухоподогреватель (после смешения холодного с рециркулирующим) и отбираемого на рециркуляцию, °С.

При наличии рециркуляции баланс тепла, температурный напор, средняя температура и скорость воздуха рассчитываются по расходу и температурам воздуха с учетом $\beta_{рц}$.

9-41. При установке воздухоподогревателей с «холодной» (входной) частью, отличающейся конструкцией от основной, «горячей», «холодная» часть рассчитывается отдельно. Для расчета принимается промежуточная температура газов (воздуха) и по балансу определяется промежуточная температура воздуха (газов). Величина перетечки воздуха из воздушной в газовую сторону для этой части принимается равной половине всей перетечки.

9-42. При конструктивном расчете величина «холодной» части определяется из условия получения на входе в «горячую» часть температуры стенки выше температуры точки росы.

9-43. Для трубчатых воздухоподогревателей коэффициент теплоотдачи конвекцией для среды, текущей внутри труб, определяется по номограмме 11 с поправками на физические характеристики среды и температурные условия. При охлаждении газов в трубах $C_ф$ не зависит от температуры стенки. При нагревании воздуха в трубах $C'_ф$ зависит от температуры стенки, принимаемой равной полусумме средних температур газов и воздуха. Поправку на относительную длину труб обычно можно не учитывать.

Для среды, движущейся между трубами, коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном омывании определяется по номограмме 7 или 8 в зависимости от расположения труб в пучке.

9-44. Для регенеративных воздухоподогревателей коэффициенты теплоотдачи определяются по номограмме 14 или 15.

9-45. Для пластинчатых воздухоподогревателей коэффициенты теплоотдачи конвекцией от газов к стенке и от стенки к воздуху при $Re<10^4$ рассчитываются по номограмме 16.

В указанной области чисел Re величина коэффициента теплоотдачи не зависит от ширины щели и определяется в зависимости от скорости и температуры среды. Верхние линии, на которых показана ширина щелей, указывают предел применимости номограммы. Если точка пересечения линий, соответствующих температуре и скорости среды, окажется выше линии, обозначающей ширину щели, коэффициент теплоотдачи рассчитывается по номограмме 11.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Ниже приведены основные сокращения, принятые для индексов, и основные условные обозначения, использованные в тексте.

Так как эти условные обозначения и сокращения не могут охватить все встречающиеся случаи, даны общие указания, которыми следует руководствоваться при выборе обозначений и индексов.

2. Для обозначения основных величин используются буквы латинского, русского и греческого алфавитов.

Следует, по возможности, избегать применения одного и того же обозначения (буквы) для различных величин. Одинаковые обозначения могут допускаться в тех случаях, когда они укоренились в различных областях техники.

3. Строчными буквами обозначаются энтальпии, объемы, количества тепла, отнесенные к 1 кг пара (воды), прописными - те же величины, отнесенные к 1 кг (1 м^3) топлива и воздуха и суммарные, например: энтальпия 1 кг пара - i, кДж/кг, энтальпия продуктов сгорания 1 кг топлива - I, кДж/кг, общее тепловосприятие рассчитываемой поверхности нагрева - Q, кДж/кг (кДж/м^3).

4. Для обозначения разности величин местных и усредненных значений применяется греческая буква Δ, поставленная слева от основной буквы. Например, перепад энтальпий газов ΔI.

5. Сложные индексы, состоящие из нескольких отдельных, располагаются в следующей последовательности: первый индекс характеризует процесс или рабсчее тело, второй - элемент оборудования и разделяются точкой. Например, коэффициент теплоотдачи от стенки к пару, протекающему в перегревателе, обозначается $\alpha_{2.пе}$ (если принадлежность α_2 к перегревателю должна быть отображена в обозначении).

6. В произведении величин, имеющих одинаковые индексы, индексы у сомножителей опускаются, произведение заключается в скобки и индекс ставится за скобкой. Например, суммарная теплоемкость газов за экономайзером - $(Vc)''_{эк}$.

7. Индексы, как правило, ставятся справа внизу основного обозначения. Верхние (располагаются также справа) применяются в следующих случаях:

а) когда они относятся к массе топлива, например углерод рабочего топлива - C^r;

в) при обозначении какой-либо величины на входе или выходе элементов оборудования (вверху ставятся соответственно один или два штриха), например, температура воздуха перед воздухоподогревателем и за ним - $t'_{вп}$ и $t''_{вп}$.

8. В пределах расчета данного элемента агрегата индексы, указывающие на элемент, не ставятся.

9. Для обозначения средних расчетных величин, как правило, дополнительные индексы не вводятся. Например, средняя температура газов в воздухоподогревателе - $\vartheta_{вп}$.

Расчетная величина, полученная путем специального усреднения, отмечается индексом «ср». Например, средний коэффициент теплоотдачи при сложном омывании - $\alpha_{ср}$.

Сокращения, принятые для индексов

Наименование	Индекс	Наименование	Индекс
Элементы оборудования		Насыщенный пар	н.п
		Перегретый пар	пе
Котел	к	Промежуточный пар	пп
Топка	т	Продукты сгорания (газы)	г
Экраны (водяные)	э	Сушильный агент	с.а
Перегреватель	пе	Воздух (обычной влажности)	в
Радиационный перегреватель	р.пе	Холодный воздух	х.в
Промежуточный перегреватель	пп	Горячий воздух	г.в
Экономайзер	эк	Зола	эл
Воздухоподогреватель	вп	Шлак	шл
Переходная зона прямоточных котлов	п.з	Унос	ун
		Провал	пр
Экономайзер низкого давления	эк.н.д		
Золоуловитель	зу	**Остальные индексы**	
Пылеприготовительная установка	пл		
Рабочие тела		Присос (воздух)	прс
		Рециркуляция	рц
Топливо	тл	Общий	общ
Газообразное топливо	г.тл	Максимальный	макс
Вода (жидкость)	ж	Минимальный	мин
Вода при температуре кипения	*s*; кип	Эквивалентный	э
Питательная вода	п.в	Приведенный	пр
Пар (независимо от состояния)	п	Расчетный	р

Перечень основных обозначений

Обозначение	Размерность	Наименование величин
1.Топливо и очаговые остатки		
а) Твердое и жидкое топливо		
W_t^r	% (на рабочую[1] массу)	Содержание влаги общей
A^r	% (на рабочую[1] массу)	Зольность
$(CO_2)^r_{крб}$	% (на рабочую[1] массу)	Содержание диоксида углерода карбонатов
S^r_p, S^r_o	% (на рабочую[1] массу)	Содержание серы пиритной, органической
C^r, H^r, N^r, O^r	% (на рабочую[1] массу)	Содержание углерода, водорода, азота, кислорода
$Q^r_б$, Q^r_s, Q^r_i	кДж/кг	Теплота сгорания по калориметрической бомбе, высшая, низшая
V^{daf}	%	Выход летучих (на сухую беззольную массу)

[1] Для обозначения элементного состава топлива, отнесенного к другим массам, употребляются те же основные буквы и нижние индексы. Изменяются только соответственно верхние индексы, а именно: для аналитической массы индекс «а», для сухой массы индекс «d», для сухой беззольной массы индекс «daf».

Обозначение	Размерность	Наименование величин
		Температура золы при ее нагревании в полувосстановительной газовой среде:
t_A	°С	начало деформации
t_B	°С	размягчение золы
t_C	°С	жидкоплавкое состояние
t_o	°С	начало истинно жидкого состояния шлака
$V_A(t_o)$	Па·с	Вязкость при температуре t_o
$t_{н.ж}$	°С	Температура нормального жидкого шлакоудаления
$V_A(t_{н.ж})$	Па·с	Вязкость при температуре $t_{н.ж}$
$A^r_{пр} = 10^3 A^r / Q^r_i$	%/(кДж/кг)	Приведенная зольность топлива
$W^r_{пр} = 10^3 W^r_t / Q^r_i$	%/(кДж/кг)	Приведенная влажность топлива
R_{90}, R_{200}	%	Остаток пыли на сите размером 90 и 200 мкм
$Г_{ун}, Г_{шл+пр}$	%	Содержание горючих в уносе, в шлаке и провале
$a_{ун}, a_{шл+пр}$	–	Доля золы топлива в уносе, в шлаке и провале
B	кг/с	Секундный расход топлива
$B_р$	кг/с	Расчетный расход топлива с поправкой на механическую неполноту сгорания
g	–	Массовая доля одного вида топлива в смеси топлив
q	–	Доля тепловыделения одного вида топлива в смеси топлива
		б) Газообразное топливо
$d_{г.тл}$	г/м³	Содержание влаги (на 1 м³ сухого газа при 0 °С и 101,3 кПа)
$A^d_{г.тл}$	%	Содержание минеральных примесей (по массе)
Q^d_i	кДж/м³	Теплота сгорания низшая 1 м³ сухого газа
$\rho^c_{г.тл}, \rho^в_{г.тл}$	кг/м³	Плотность сухого и влажного топлива
		2. Воздух и продукты сгорания
		а) Объемы на 1 кг твердого и жидкого или на 1 м³ газообразного топлива (все объемы при 0 °С и 101,3 кПа)
$V^н_0$	м³/кг (м³/м³)	Теоретический объем воздуха, необходимого для сгорания топлива (α=1)
$V^н_{0,N_2}$	м³/кг (м³/м³)	Теоретический объем азота (α=1)
$V^н_{RO_2}$	м³/кг (м³/м³)	Суммарный объем углекислого CO_2 и сернистого SO_2 газов
$V^н_{0,H_2O}$	м³/кг (м³/м³)	Теоретический объем водяных паров (α=1)
$V^н_{0,г}$	м³/кг (м³/м³)	Объем продуктов сгорания (α=1)
$V^н_г$	м³/кг (м³/м³)	Полный объем продуктов сгорания ($\alpha \neq 1$)
$V^н_{рц}$	м³/кг (м³/м³)	Объем газов, отбираемых для рециркуляции
$\rho_{с.в}$, $\rho_в$	кг/м³	Плотность сухого, влажного воздуха
$r_{RO_2}, r_{H_2O}, r_п$	–	Объемные доли сухих трехатомных газов, водяных паров, их сумма
$p_п$	МПа	Суммарное парциальное давление трехатомных газов
$\mu_{зл}$	кг/кг	Массовая концентрация золы в продуктах сгорания топлива
$G_г$	кг/кг (кг/м³)	Масса дымовых газов
d	г/кг	Влагосодержание воздуха

Обозначение	Размерность	Наименование величин
		б) Теплоемкости и энтальпии
$c_{CO_2}, c_{N_2}, c_{H_2O}$	кДж/(м³·К)	Средняя теплоемкость углекислого газа, азота и водяных паров
$c_в$	кДж/(м³·К)	Средняя теплоемкость влажного воздуха (на 1м³ сухого)
Vc	кДж/(кг·К) [кДж/(м³·К)]	Суммарная теплоемкость продуктов сгорания топлива
$c_{зл}$, $c_{тл}$	кДж/(кг·К)	Средняя теплоемкость золы, топлива
$I_{0г}$	кДж/кг (кДж/м³)	Энтальпия продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива (α=1)
I	кДж/кг (кДж/м³)	Энтальпия продуктов сгорания 1 кг (1 м³) топлива ($\alpha \neq 1$)
$I_{0в}$	кДж/кг (кДж/м³)	Энтальпия воздуха, теоретически необходимого для сгорания 1 кг (1 м³) топлива (α=1)
$I_в$	кДж/кг (кДж/м³)	Энтальпия воздуха на 1 кг (1 м³) топлива ($\alpha \neq 1$)
$i_{тл}$	кДж/кг (кДж/м³)	Физическое тепло топлива
		в) Коэффициент избытка воздуха
$\alpha_т$, $\alpha'_{пе}$	–	Коэффициент избытка воздуха в топке и перед перегревателем
$\Delta\alpha_т$, $\Delta\alpha$	–	Присосы воздуха в топке и газоходах
$\Delta\alpha_{пл}$	–	Присосы воздуха в пылеприготовительной установке
$\beta'_т$	–	Отношение количества воздуха, подаваемого в топку из воздухоподогревателя, к теоретически необходимому
$\beta'_{вп}$, $\beta''_{вп}$	–	Отношение количества воздуха на входе в воздухоподогреватель и выходе из него к теоретически необходимому
$\beta_{рц}$	–	Отношение количества воздуха, рециркулирующего в воздухоподогревателе, к теоретически необходимому
$\beta_{изб}$	–	Отношение количества избыточного воздуха (отдаваемого «на сторону») к теоретически необходимому
$g_ш$	–	Отношение расхода газов через параллельный газоход к общему расходу
		г) Физические характеристики
μ	Па·с	Коэффициент динамической вязкости
$\nu=\mu/\rho$	м²/с	Коэффициент кинематической вязкости при p = 101,3 кПа
$\nu_г$	м²/с	Коэффициент кинематической вязкости продуктов сгорания среднего состава при p = 101,3 кПа
$\lambda_г$	Вт/(м·К)	Коэффициент теплопроводности продуктов сгорания среднего состава при p = 101,3 кПа
ρ	кг/м³	Плотность
$a=\lambda\cdot10^{-3}/(c_p\rho)$	м²/с	Коэффициент температуропроводности (c_p - истинная теплоемкость при постоянном давлении, кДж/(кг·К))
		3. Тепловой баланс, количество тепла и тепловые нагрузки
$\eta_к$	%	Коэффициент полезного действия (КПД) котла (брутто)
Q_1; q_1	кДж/кг (кДж/м³); %	Полезно использованное тепло
Q_2; q_2	кДж/кг (кДж/м³); %	Потеря тепла с уходящими газами
Q_3; q_3	кДж/кг (кДж/м³); %	Потеря тепла от химической неполноты сгорания топлива
Q_4; q_4	кДж/кг (кДж/м³); %	Потеря тепла от механической неполноты сгорания топлива
$Q_{4ун}$; $Q_{шл+пр}$	кДж/кг; %	Потеря тепла с уносом, со шлаком и провалом
$q_{4ун}$; $q_{шл+пр}$		
Q_5; q_5	кДж/кг (кДж/м³); %	Потеря тепла в окружающую среду
$Q_{6шл}$; $q_{6шл}$	кДж/кг; %	Потеря с теплом шлака
$Q_{6охл}$; $q_{6охл}$	кДж/кг (кДж/м³); %	Потеря с теплом воды, охлаждающей панели

Обозначение	Размерность	Наименование величин
φ	–	Коэффициент сохранения тепла
$Q_т$	кДж/кг (кДж/м^3)	Полезное тепловыделение в топке
$Q_р$	кДж/кг (кДж/м^3)	Располагаемое тепло на 1кг (1 м^3) топлива
$Q_в$	кДж/кг (кДж/м^3)	Тепло воздуха, поступающего в топку
$Q_л$	кДж/кг (кДж/м^3)	Количество тепла, переданного поверхности нагрева излучением
$q_V=BQ^r_i/V_т$	кВт/м^3	Тепловое напряжение топочного обьема
$q_R=BQ^r_i/R$	кВт/м^2	Тепловое напряжение зеркала горения колосниковой решетки
$q_F=BQ^r_i/F_т$	кВт/м^2	Тепловое напряжение сечения топки
$q_л = y_в \frac{B_р Q_л \psi}{F_{ст} \psi_{ср}}$	кВт/м^2	Удельное тепловосприятие зоны по высоте топочной камеры

4. Вода и пар

D	кг/с	Паропроизводительность котла
$D_{н.п}$	кг/с	Количество насыщенного пара, отобранного из котла до перегревателя
$D_{пр}$	кг/с	Количество воды, идущей в продувку
$D_{пе}$	кг/с	Расход пара через перегреватель
$D_{эк}$	кг/с	Расход воды через экономайзер
$D_{пп}$	кг/с	Расход пара через промежуточный перегреватель
$i_{пе}$, i''_s	кДж/кг	Энтальпия перегретого и насыщенного пара
$i_{пп}$	кДж/кг	Энтальпия пара промежуточного перегрева
$i_{п.в}$	кДж/кг	Энтальпия питательной воды
$i_{кип}$, i'_s	кДж/кг	Энтальпия воды при кипении и при закипании
r	кДж/кг	Теплота парообразования
$\Delta i_{по}$	кДж/кг	Снижение энтальпии пара в пароохладителе
i', i''	кДж/кг	Энтальпия пара (воды) на входе в поверхность нагрева и выходе из нее

5. Температура и давление

$\vartheta_а$	°С	Теоретическая (адиабатическая) температура сгорания топлива
$\vartheta''_т$	°С	Температура газов на выходе из топки
$\vartheta_{ух}$	°С	Температура уходящих газов
$t_{х.в}$	°С	Температура холодного воздуха
$t_{прс}$	°С	Температура присасываемого воздуха
$t_{г.в}$	°С	Температура горячего воздуха
$t'_{вп}$, $t''_{вп}$	°С	Температура воздуха на входе в воздухоподогреватель и выходе из него
$t'_{эк}$, $t''_{эк}$	°С	Температура воды на входе в экономайзер и выходе из него
$t_{п.в}$	°С	Температура питательной воды
$t_{пе}$	°С	Температура перегретого пара
$t'_{пе}$, $t''_{пе}$	°С	Температура пара на входе в перегреватель и выходе из него
$t'_{пп}$, $t''_{пп}$	°С	Температура пара на входе в промежуточный перегреватель и выходе из него
$t_з$	°С	Температура наружной поверхности загрязнений

Обозначение	Размерность	Наименование величин
$t_{ст}$	°С	Средняя (по толщине) температура металла стенки трубы
$t_{ст.н}$	°С	Температура наружной поверхности стенки трубы
τ	°С	Перепад температур одного из теплоносителей
p	МПа	Абсолютное давление

6. Теплопередача

$k_r^o r_п$	1/(м·МПа)	Коэффициент поглощения лучей газовой фазой продуктов сгорания
$k_с$	1/(м·МПа)	Коэффициент поглощения лучей частицами сажи
$k_{эл}\mu_{эл}$	1/(м·МПа)	Коэффициент поглощения лучей частицами золы
$k_{кокс}\mu_{кокс}$	1/(м·МПа)	Коэффициент поглощения лучей частицами кокса
a	–	Эффективная степень черноты потока
$\alpha_л$	Вт/(м²·К)	Коэффициент теплоотдачи межтрубным излучением продуктов сгорания
$\alpha_к$	Вт/(м²·К)	Коэффициент теплоотдачи конвекцией
α_1	Вт/(м²·К)	Коэффициент теплоотдачи по газовой стороне
$\alpha_{1пр}$	Вт/(м²·К)	Приведенный коэффициент теплоотдачи к оребренной стороне
α_2	Вт/(м²·К)	Коэффициент теплоотдачи от стенки к внутренней среде
ε	(м²·К)/Вт	Коэффициент теплового сопротивления внешнего загрязнения (коэффициент загрязнения)
ψ	–	Коэффициент тепловой эффективности
ξ	–	Коэффициент использования поверхности нагрева
k	Вт/(м²·К)	Коэффициент теплопередачи
$\Delta t_б$, $\Delta t_м$	К	Большее и меньшее значение температурных напоров
Δt	К	Средний температурный напор
w	м/с	Скорость
Bu=kps	–	Критерий Бугера
Re=$wdl\nu$	–	Критерий Рейнольдса
Pr=ν/a	–	Критерий Прандтля
Nu=$\alpha dl\lambda$	–	Критерий Нуссельта
Bi=$\alpha l/\lambda$	–	Критерий Био

7. Геометрические характеристики

$V_т$	м³	Объем топочной камеры
R	м²	Площадь зеркала горения
$F_{ст}$	м²	Поверхность стен топки
H	м²	Поверхность нагрева
ζ	–	Коэффициент, учитывающий тепловое сопротивление загрязнения или закрытия изоляцией лучевоспринимающих поверхностей
s	м	Эффективная толщина излучающего слоя
d, $d_{вн}$, $d_э$	м	Наружный, внутренний и эквивалентный диаметры
s_1, s_2, s'_2	м	Поперечный, продольный и диагональный шаги труб в пучке
σ_1, σ_2, σ'_2	–	То же, относительные шаги
F, f	м²	Живое сечение для прохода газов и пара (воды)
$H_{поп}$, $H_{пр}$	м²	Части поверхности нагрева, омываемые поперечным и продольным потоками
$F_{поп}$, $F_{пр}$	м²	Живые сечения для поперечного и продольного потоков
th	–	Тангенс гиперболический

ПРИЛОЖЕНИЕ II

КРАТКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Настоящие рекомендации распространяются на топочные устройства и поверхности нагрева стационарных котлов. Они базируются на широком опыте проектирования, исследования и эксплуатации котлов на разных топливах. Отступления от них допускаются, но должны быть обоснованы опытными данными или соответствующими технико-экономическими расчетами.

Здесь приводятся краткие рекомендации по выбору типа топочного устройства и исходных данных для его расчета. Подробные сведения приведены в «Методических указаниях по проектированию топочных устройств для энергетических котлов» (НПО ЦКТИ, СПб., 1996).

Также изложены рекомендации по выбору основных расчетных параметров котлов: температуры уходящих газов и воздуха, скорости газов в поверхностях нагрева. Даны рекомендации по обеспечению надежной работы конвективных поверхностей нагрева, включая воздухоподогреватели.

II-А. Топочные устройства

а) Общие положения

1. Топочное устройство должно обеспечивать:

экономичность работы котла в регулировочном диапазоне нагрузок - от 50 до 100 % для высокореакционных топлив и 70-100 % для низкореакционных, 70-100 % при прямом вдувании пыли без отключения мельниц и связанного с ними оборудования;

бесшлаковочную работу поверхностей нагрева;

равномерное распределение тепловых нагрузок по периметру топки;

минимальные вредные выбросы с дымовыми газами.

2. Камерные топки для сжигания пылевидного твердого топлива рекомендуются для котлов паропроизводительностью от 10 кг/с. Сжигание антрацитовых штыбов, полуантрацитов и тощих углей рекомендуется в котлах паропроизводительностью 45 кг/с и выше.

Слоевые топки целесообразно применять для паровых котлов паропроизводительностью до 20 кг/с и водогрейных теплопроизводительностью до 60 МВт.

Камерные топки для сжигания жидких и газообразных топлив применяются в котлах любой паропроизводительности.

3. Пылеугольные камерные топки выполняют с твердым и жидким шлакоудалением. В топках с жидким шлакоудалением вытекающий шлак при минимальной нагрузке должен иметь среднюю температуру выше температуры истинно жидкого его состояния и вязкость не выше 40-50 Па·с.

Топки с жидким шлакоудалением целесообразно применять при сжигании низкореакционных топлив с выходом летучих веществ менее V^{daf}=10-12 %.

б) Пылеугольные камерные топки

4. Температура газов на выходе из топочной камеры выбирается из условий предупреждения шлакования последующих поверхностей нагрева. Рекомендуемые средние по сечению температуры газов перед ширмовым и конвективным пароперегревателем для различных марок углей даны в таблице II-1.

Перед фестонированной частью конвективного пароперегревателя или фестоном температура газов может быть выше рекомендованных при условии сохранения температуры газов перед плотным пучком на уровне, указанном в таблице II-1.

Для топлив, не приведенных в таблице II-1, средняя температура газов перед вертикальными плотными пучками в горизонтальном газоходе принимается в зависимости от загрязняющих свойств золы топлива (соотношение сумм основных $\Sigma O=CaO+MgO+K_2O+Na_2O$ и кислых $\Sigma K=SiO_2+Al_2O_3+TiO_2$ ее компонентов или содержание CaO). При $\Sigma K/\Sigma O<6$ или $CaO>13$ % средняя температура газов принимается перед вертикальными плотными пучками не выше 950 °С и перед ширмами не выше 1050 °С.

5. Расчетные режимные характеристики пылеугольных камерных топок с твердым шлакоудалением приведены в таблице XVIII и топок с жидким шлакоудалением в таблице XIX.

Таблица II-1

Топливо	Характер первичных отложений	Температура газов, °С		
		перед ширмами (на уровне середины выходного окна)		перед конвективным пароперегревателем в горизонтальном газоходе
		цельносварными	гладкотрубными	
Донецкий АШ, Т	рыхлые	1200	1150	1000
Донецкий Г, Д	прочные	1100	1100	950
Кузнецкий Г	рыхлые	1150	1100	950
Кузнецкий СС, Т	рыхлые	1200	1150	1000
Азейский Б	прочные	1200	1200	950
Кизеловский Г	прочные	1100	1100	1000
Экибастузский	прочные	1250	1250	1100
Подмосковный Б	прочные	1100	1100	1000
Назаровский	прочные	1050	1050	900
Ирша-бородинский	прочные	1050	1050	900
Березовский Б	прочные	1050	1050	900
Ангренский Б	прочные	1050	1050	900
Фрезерный торф	прочные	1000	1000	900
Сланцы северо-западных месторождений	прочные	1000	1000	900
Тургайский Б	прочные	1070	1070	930

Примечание. Указанные в таблице значения применимы при разверке температур газов по сечению топки $\vartheta_{макс}-\vartheta_{ср}\leq 100$ °С. При большей разверке температуру следует снижать.

6. Температура горячего воздуха за воздухоподогревателем котла выбирается в зависимости от марки топлива, конструкции топочного устройства и системы пылеприготовления котла. Рекомендуемые температуры приведены в таблице II-2.

Таблица II-2

Топочное устройство	Система пылеприготовления	Топливо	Температура горячего воздуха
Топки с твердым шлакоудалением	При воздушной сушке топлива в замкнутой системе пылеприготовления	АШ	450-470
		Т	420-450[1]
		Прочие каменные угли	300-420[1]
		Бурые угли, фрезторф	350-400[2]
		Сланцы	250-300
	При сушке топлива газами в замкнутой системе пылеприготовления	Бурые угли	300-350[3]
	При сушке топлива газами в разомкнутой системе пылеприготовления	Для всех топлив	≤350
Топки с жидким шлакоудалением (однокамерные)	С полуразомкнутой и разомкнутой системами пылеприготовления, подачей пыли горячим воздухом	АШ	450-470
		Т	400-450[1]
Топки для газа и мазута	–	Газ, мазут	230-270

[1] Большие значения для окисленных углей 2-ой группы и тощих 2Т.

[2] При высоковлажном торфе $W_t^r > 50\%$ принимается $t_{г.в}$=400 °С.

[3] Большие значения при высокой влажности топлива.

7. Размеры топки, количество и размещение горелок определяются на основании рекомендаций по допустимым тепловым напряжениям сечения топки, температурам факела в зоне активного горения, обеспечению заданной температуры газов на выходе из топки и полноты выгорания топлива.

в) Камерные топки для сжигания мазута и газа

8. Средняя по сечению температура дымовых газов на выходе из топки $\vartheta''_т$ при сжигании мазута, как правило, не должна превышать 1350 °С. При сжигании низкокачественных мазутов с высоким содержанием серы, ванадия и натрия $\vartheta''_т$ не должна превышать 1200 °С.

Для котлов, работающих только на газе (жидкое топливо - аварийное), по условиям работы ширм и конвективных поверхностей нагрева может быть допущена более высокая температура.

9. Размеры топки, количество и размещение горелок определяются, исходя из тепловой мощности топки, с соблюдением следующих условий: величины теплового напряжения сечения топки q_F и условного теплового напряжения сечения топки на один ярус горелок $q_{яр}=q_F/n_{яр}$ для барабанных котлов не должны превышать соответственно 4 и 2 МВт/м^2, а для прямоточных котлов сверхкритического давления 9 и 3 МВт/м^2.

10. Расчетные режимные характеристики камерных топок газомазутных котлов большой мощности приведены в таблице XX.

г) Слоевые топки

11. При выборе типа слоевой топки следует учитывать необходимость максимальной механизации рабочих процессов.

При сжигании грохоченных и рядовых углей (максимальный размер куска 40 мм, содержание мелочи 0-6 мм не более 60 %) с $V^{daf} \geq 20$ %, каменных с зольностью $A^{daf} < 35$ % и бурых с теплотои сгорания $Q_i^r > 12$ МДж/кг рекомендуются слоевые топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода.

При сжигании сортированных антрацитов и полуантрацитов рекомендуются топки с цепными решетками прямого хода.

При сжигании сланцев возможно применение топок с пневмомеханическими забрасывателями и решетками обратного хода и топок с наклонно-переталкивающими решетками.

12. Расчетные характеристики слоевых топок приведены в таблице XXI.

II-Б. Поверхности нагрева

13. Температура уходящих газов за котлом должна выбираться на основании технико-экономических расчетов по условию эффективного использования тепла топлива и расхода металла на хвостовые поверхности нагрева.

В п.п. 13.1-13.6 приведены рекомендации для котлов, в основном, D>20 кг/с. Для меньших котлов см. п. 13.7

13.1. При сжигании твердых топлив температуру уходящих газов принимают по табл. II-3 в зависимости от приведенной влажности топлива $W^r_{пр}$ и температуры питательной воды при соблюдении требований по защите воздухоподогревателя и последующего тракта от низкотемпературной коррозии - см. п. 13.5.

Таблица II-3

Топливо, приведенная влажность $W^r_{пр}$,%/(1000 кДж/кг)	Температура питательной воды, °С		
	150	215 - 235	265
Сухое, $W^r_{пр} < 0,7$	110 - 120	120 - 130	130 - 140
Влажное, $W^r_{пр}$ = 1-5	120 - 130	140 - 150	150 - 160
Сильно влажное, $W^r_{пр} > 5$	130 - 140	160 - 170	170 - 180

Примечание. В разомкнутых системах $W^r_{пр}$ принимается по подсушенному топливу.

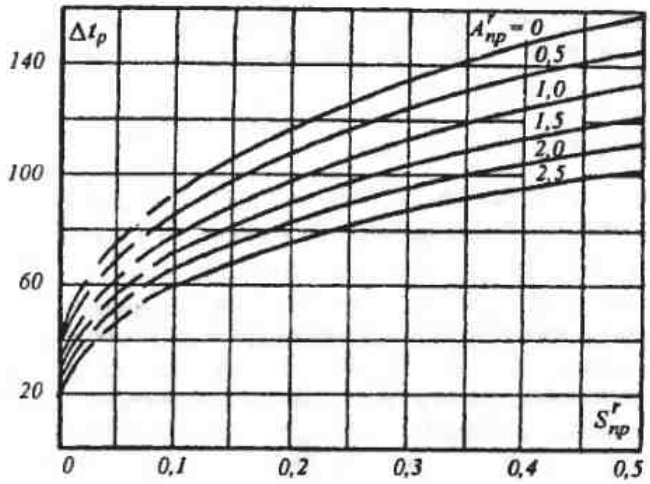


Рис. II.1. Разность температур точки росы дымовых газов и конденсации содержащихся в них водяных паров при сжигании твердых топлив.

При сжигании сернистых твердых топлив в пылевидном состоянии температура точки росы дымовых газов $t_р$ рассчитывается в зависимости от температуры конденсации влаги при парциальном ее давлении в газах и приведенного содержания серы $S^r_{пр}$ и золы $A^r_{пр}$ в топливе по формуле

$$t_р = t_{кон} + \Delta t_р, \ °C, \qquad (II\text{-}1)$$

где $\Delta t_р = \dfrac{200 S^r_{пр}}{1{,}25 a_{ун} A^r_{пр}}$, K;

$a_{ун}$ - доля уноса золы;

$S^r_{пр}$, $A^r_{пр}$ - приведенные содержания серы и золы на 1000 кДж/кг теплоты сгорания топлива.

На рис. II.1 приведены кривые для определения $\Delta t_р$ при $a_{ун}$ =0,85.

Температура точки росы продуктов сгорания малосернистых березовского и экибастузского углей значительно ниже расчетных значений. Для этих топлив $t_р$ следует принимать около 60 °С.

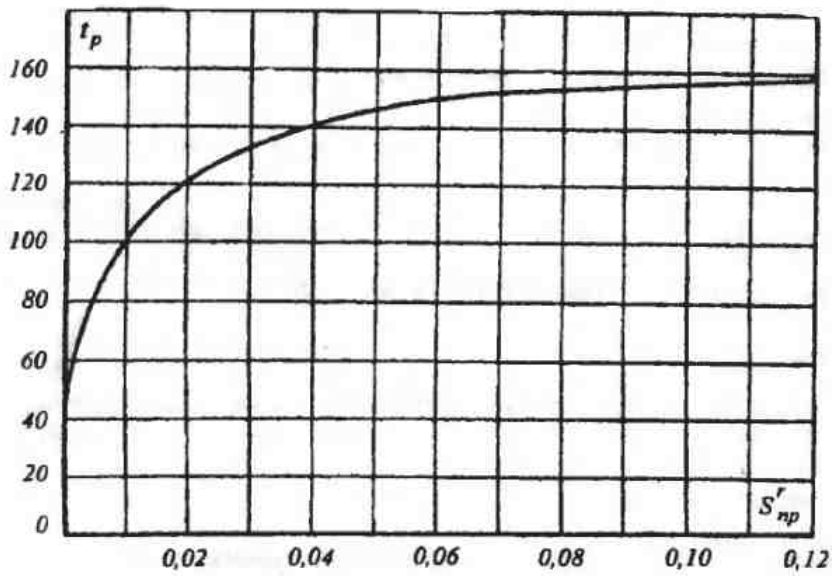


Рис. II.2. Точка росы дымовых газов при сжигании мазута ($\alpha_т$>1,03).

13.2. При сжигании сернистого мазута с избытками воздуха $\alpha_т$>1,03 температура точки росы зависит от приведенного содержания серы $S_{пр}$ в топливе (рис. II.2)

При сжигании сернистых мазутов с предельно низкими избытками воздуха ($\alpha_т \le 1{,}02$) $t_р$ должна приниматься по результатам специальных измерений.

13.3. Если природные газы не содержат сернистых соединений, температура точки росы их продуктов сгорания определяется парциальным давлением водяных паров, т.е. равна их температуре насыщения.

При сжигании газов, содержащих сернистые соединения (сероводород), $t_р$ зависит от приведенного содержания серы и определяется также по рис. II.2. При этом приведенное содержание серы

$$S^r_{пр} = \frac{6 \cdot mg \cdot 10^3}{Q^d_i}, \ \%/(1000кДж/м^3), \qquad (II\text{-}2)$$

где m - число атомов серы в молекуле серосодержащего компонента;

g - объемный процент серы (серосодержащего компонента);

Q^d_i - теплота сгорания газа, кДж/м³.

13.4. Для предупреждения коррозии поверхностей нагрева в процессе эксплуатации температура металла стенок поверхностей должна быть выше температуры точки росы дымовых газов при всех нагрузках котла.

Температура среды на входе в поверхность нагрева, охлаждаемую средой с высоким коэффициентом теплоотдачи (экономайзеры, газовые испарители и т.п.), должна превышать температуру точки росы примерно на 10 °С.

Для воздухоподогревателей полное исключение низкотемпературной коррозии обеспечивается, если температура стенки наиболее холодного участка выше температуры точки росы при всех нагрузках котла не менее, чем на 5-10 °С (минимальное значение относится к минимальной нагрузке).

Минимальная (по разверке) температура стенки трубчатого воздухоподогревателя

$$t_{ст}^{мин} = \frac{\alpha_1 \vartheta_{ух}^{мин} \frac{d_{вн}}{d} + \alpha_2 t'_в}{\alpha_1 \frac{d_{вн}}{d} + \alpha_2}, \ °C, \qquad (II\text{-}3)$$

где $t'_в$ - средняя температура воздуха на входе в воздухоподогреватель, °С.

$\vartheta_{ух}^{мин}$ - минимальная по разверке температура уходящих газов

$$\vartheta_{ух}^{мин} = t'_в + K_{ух}^{мин}\left(\vartheta' - t'_в\right), \ °C, \qquad (II\text{-}4)$$

здесь ϑ' - температура газов на входе в воздухоподогреватель, °С;

$K_{ух}^{мин}$ - коэффициент, определяемый по рис. II.3, II.4, II.5;

P, R - безразмерные параметры по (7-79).

При равных ходах в воздухоподогревателе α_1 и α_2 принимаются средними для всего воздухоподогревателя. При уменьшенном первом ходе α_1 и α_2 рассчитываются для первого хода.

Для повышения $t_{ст}^{мин}$ без общего увеличения $t'_в$ целесообразно создавать перекос входных температур воздуха по высоте первого хода с увеличением их сверху вниз. Увеличение температуры воздуха в нижней части на 10 °С приводит к повышению $t_{ст}^{мин}$ на ≈ 6 °С.

В регенеративных воздухоподогревателях поверхность нагрева сменяемой части выбирается, исходя из условия обеспечения отсутствия коррозии в несменяемой части. Для этого минимальная температура стенки несменяемой «горячей» части при номинальной нагрузке котла проверяется по формуле

$$t_{ст}^{мин} = \frac{x_1\alpha_1\vartheta''_г + x_2\alpha_2 t'_в}{x_1\alpha_1 + x_2\alpha_2}, \ °C, \ (II\text{-}5)$$

где α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи в «горячей» части, Вт/(м²·К);

$\vartheta''_г, t'_в$ - температуры газов на выходе из «горячей» части и воздуха на входе в нее, °С;

x_1 и x_2 - доли поверхности нагрева или сечения, омываемые соответственно газами или воздухом (без учета поверхности или сечения под плитами радиальных уплотнений).

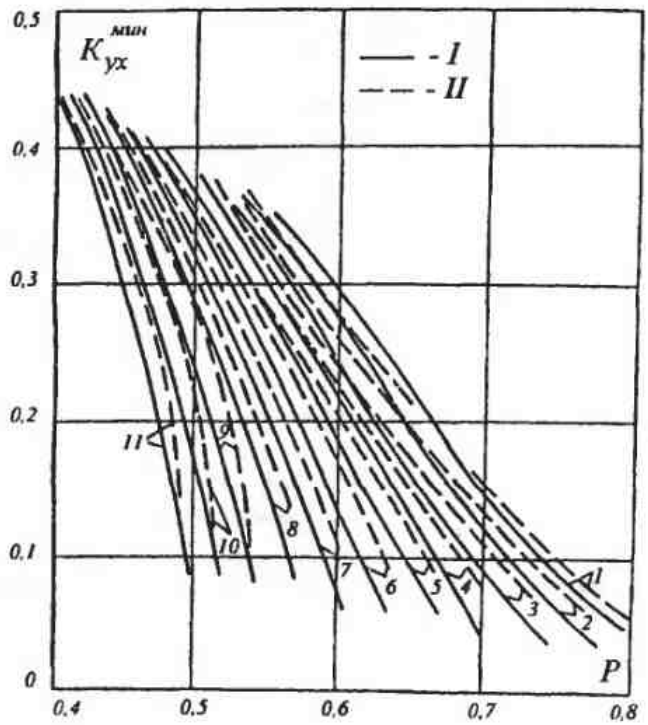


Рис. II.3. Коэффициент $K_{ух}^{мин}$ для двухходового Z-перекреста.

I - равные ходы; II - уменьшенный первый по воздуху ход;
1 - R=1,0; 2 - R=1,1; 3 - R=1,2; 4 - R=1,3; 5 - R=1,4;
6 - R=1,5; 7 - R=1,6; 8 - R=1,7; 9 - R=1,8; 10 - R=1,9;
11 - R=2,0

«Холодная» часть РВП выполняется коррозионно-стойкой (керамическая, эмалированная или по-

крытая другим антикоррозийным материалом) или сменяемой из плоских металлических листов толщиной 1,0-1,2 мм.

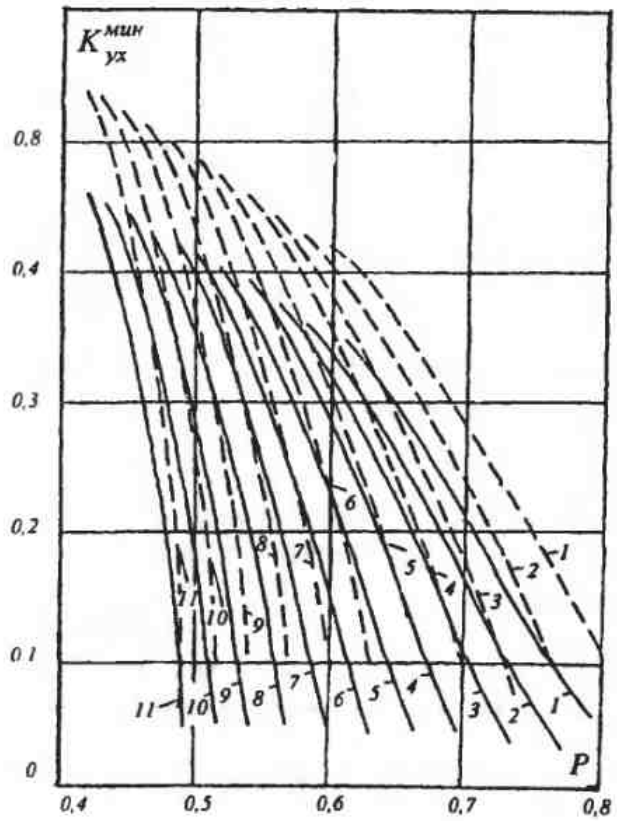


Рис. II.4. Коэффициент $K_{ух}^{мин}$ для двухходового С-перекреста.

Условные обозначения см. на рис. II.3.

13.5. Для защиты от низкотемпературной коррозии всего газового тракта за воздухоподогревателями (газоходы, золоуловители, дымососы, дымовые трубы) и предупреждения коррозионноопасных выбросов частиц золы и сажи с серной кислотой температура уходящих газов должна выбираться не ниже температуры точки росы дымовых газов.

Для твердых топлив температура уходящих газов должна быть выше точки росы дымовых газов на 10-15 °С.

При сжигании мазута расчетное значение температуры уходящих газов при номинальной нагрузке котла принимается в зависимости от содержания серы по табл. II-4.

При сжигании сернистого мазута с предельно малыми избытками воздуха ($\alpha_т \leq 1{,}02$) температура уходящих газов может приниматься ниже рекомендованной с учетом измеренной точки росы.

При сжигании природных газов температура насыщения водяных паров в уходящих газах не превышает 60 °С (см. п. 13.3). При столь низкой температуре точки росы температура уходящих газов должна приниматься на уровне 90-100 °С из условия обеспечения защиты от коррозии воздухоподогревателя.

Для защиты от низкотемпературной коррозии металлических газоходов следует обеспечить их тщательную теплоизоляцию. Разность температур между дымовыми газами и стенкой газохода не должна превышать 5 °С.

Таблица II-4

Содержание серы S^r, %	до 1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	свыше 3,0
Температура уходящих газов $\vartheta_{ух}$, °С	140	150	160	165

13.6. При снижении нагрузки котла в диапазоне 100-50 % и уменьшении при этом температуры уходящих газов необходимо увеличить $t'_в$ для обеспечения минимальной температуры стенки воздухоподогревателя. Температура предварительного подогрева воздуха выбирается не ниже значений, приведенных в табл. II-5.

Таблица II-5

Топливо	Воздухоподогреватель	
	трубчатый	РВП
Бурые угли ($S^r_{пр} \leq 0{,}1$ %), торф, сланцы	50	30
Каменный уголь ($S^r_{пр} \leq 0{,}1$ %), антрациты	30	30
Бурые угли ($S^r_{пр} > 0{,}1$ %)	80	60
Каменный уголь ($S^r_{пр} > 0{,}1$ %)	60	50
Мазут с содержанием серы более 0,5 %	110	70
Мазут с содержанием серы 0,5 % и менее	90	50

13.7. Для котлов небольшой производительности ($D \leq 20$ кг/с) температуру уходящих газов рекомендуется определять в зависимости от температурных напоров на «холодном» конце экономайзера (между температурами газов и питательной воды) и на «горячем» конце воздухоподогревателя (или его «холодной» ступени).

Рекомендуется принимать температурный напор на «холодном» конце экономайзера в пределах

$$\Delta t_{эк} = 30 - 80\ °C.$$

При установке к котлам низкого давления воздухоподогревателя температурный напор на его «горячем» конце принимается из диапазона

$$\Delta t_{вп} = 50 - 140\ °C.$$

В котлах низкого давления с хвостовыми поверхностями нагрева температура уходящих газов должна быть не ниже величин, указанных в табл. II-6. Оптимальное их значение выбирается на основе технико-экономических расчетов.

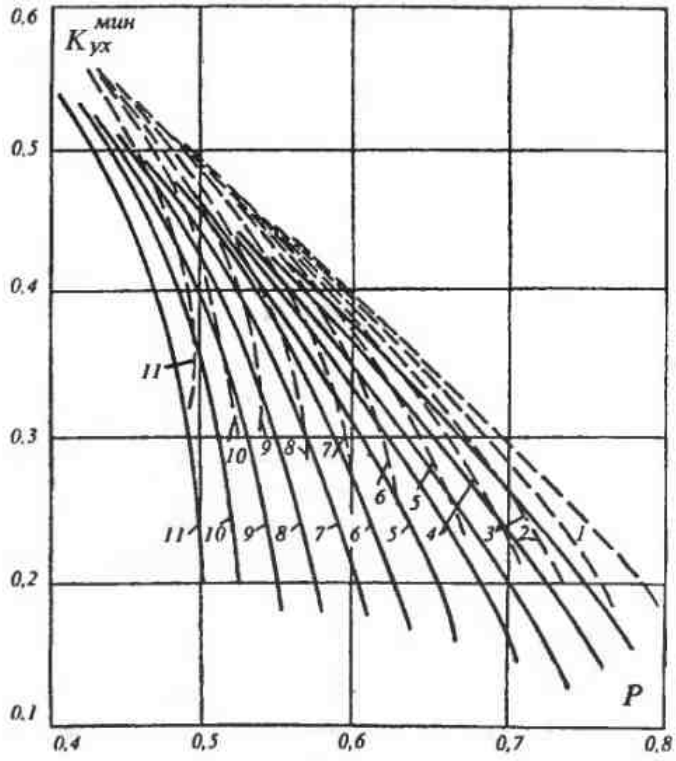


Рис. II.5. Коэффициент $K_{ух}^{мин}$ для трехходового С-перекреста.

Условные обозначения см. на рис. II.3.

14. Минимальные скорости газов по условию предотвращения заноса поверхностей нагрева принимаются: при номинальной нагрузке - не ниже 6 м/с для поперечно омываемых пучков и 8 м/с при продольном токе газов в трубчатых и регенеративных воздухоподогревателях.

При сжигании абразивных топлив скорость газов следует выбирать из условия допустимого износа труб в конвективных пакетах.

Золовой износ труб в наиболее опасном ряду гладкотрубных и шахматных мембранных пучков

Таблица II-6

Топливо	$\vartheta_{ух}$, °C
Угли с $W_{пр}^{r} < 0{,}7$ и природный газ	120-130
Угли с $W_{пр}^{r} = 1-5$	140-150
Мазут	по табл. II-4
Торф и древесные отходы	170-190[1]

[1] При установке воздухоподогревателя

$$J = 9{,}5 \cdot 10^{3} \frac{a k_p k_\mu \mu \tau M}{(\vartheta + 273)^{0{,}35}} \left(\frac{k_w}{k_D} w \frac{\sigma_1 - 1}{\sigma_1} \right)^{3} \left(\frac{R_{90}}{d} \right)^{0{,}5}, \text{ мм,} \qquad \text{(II-6)}$$

где a - коэффициент абразивности золы, м²/Н;

μ - концентрация золы в газах

$$\mu = \frac{10 \cdot A^{r} a_{ун}}{V_{г}^{н}} \cdot \frac{273}{\vartheta + 273}, \text{ г/м}^3.$$

τ - срок службы труб, ч;

w - скорость газов в пучке при номинальной нагрузке котла, м/с;

R_{90} - остаток золы на сите 90 мкм, %;

d - диаметр трубы, мм;

ϑ - температура газов, °С;

M - коэффициент истираемости металла труб: для углеродистых сталей M=1,0; для легированных сталей M=0,7;

k_p - коэффициент, учитывающий влияние поперечного шага труб:

шахматные гладкотрубные и мембранные пучки

$\sigma_1 \le 2{,}8$ $\quad k_p = 3{,}5$;

$2{,}8 < \sigma_1 < 5{,}4$ $\quad k_p = \dfrac{4{,}8}{\sigma_1 - 1{,}4}$,

$\sigma_1 \ge 5{,}4$ $\quad k_p = 1{,}2$;

коридорные гладкотрубные пучки $\quad k_p = 1{,}2$;

k_w, k_μ - коэффициенты неравномерности соответственно полей скоростей газов и концентраций золы: при П- и Т- образной компоновке котла для поверхностей за поворотной камерой k_w=1,45 и k_μ=1,25; при повороте газов перед пакетом на 180° k_w=1,6; k_μ=1,6; при башенной компоновке k_w=1,2 и k_μ=1,1;

k_D - отношение расчетной скорости газов при номинальной нагрузке котла к скорости газов при среднеэксплуатационной нагрузке: для котлов $D \ge 35$ кг/с $\quad k_D$=1,15;
для котлов D=14 - 20 кг/с $\quad k_D$=1,4 - 1,3.

Расчет износа труб шахматных пучков с поперечным спирально-ленточным оребрением с характеристиками оребрения: шаг ребер $s_{рб}$ = 8 - 15 мм, высота ребра $h_{рб}$ = 10 - 15 мм, толщина ребра $\delta_{рб}$ = 1,0 - 1,3 производится по формуле (II-6) с коэффициентами для гладкотрубных шахматных пучков. Дополнительно в виде сомножителя вводится коэффициент, учитывающий характер оребрения, k_o= 1,9.

Значения коэффициентов абразивности золы при R_{90}=20 % по ГОСТ 21708 в табл. II-7.

Таблица II-7

Уголь	a_{20}, м²/Н
Экибастузский	$0{,}22 \cdot 10^{-11}$
Подмосковный	$0{,}17 \cdot 10^{-11}$
АШ, донецкий тощий, ГСШ, гусино-озерский	$0{,}14 \cdot 10^{-11}$
Карагандинский, бикинский, куучекинский	$0{,}20 \cdot 10^{-11}$
Львовско-волынский, кузнецкий	$0{,}09 \cdot 10^{-11}$

Ориентировочные значения коэффициента абразивности золы при R_{90}=20 % определяются в зависимости от содержания в золе $(SiO_2+Al_2O_3)$, %

$$a_{20} = 0{,}045\ (SiO_2+Al_2O_3 - 44)10^{-11},\ \text{м}^2/\text{Н}. \qquad \text{(II-7)}$$

При $(SiO_2+Al_2O_3) \le 60$ % рекомендуется принимать $a_{20}=0{,}07 \cdot 10^{-11}$ м²/Н.

Пересчет коэффициента абразивности золы на другой остаток на сите 90 мкм производится по формуле

$$a = 0{,}22 \cdot a_{20} R_{90}^{0,5},\ \text{м}^2/\text{Н}. \qquad \text{(II-8)}$$

В таблице II-8 для некоторых топлив приведены расчетные значения предельно допустимой скорости газов в пакете гладкотрубных и мембранных шахматных пучков при номинальной нагрузке котла. За исходные условия принято: $J_{макс}$=2,0 мм; $\tau = 65 \cdot 10^3$ ч (примерно 10 лет эксплуатации); M=1,0; k_w=1,45; k_μ=1,25; k_D=1,15; ϑ =450 °С.

Таблица II-8

Уголь	R_{90}, %	σ_1=2,8		σ_1=4,0		σ_1=5,4	
		d=32 мм	d=57 мм	d=32 мм	d=57 мм	d=32 мм	d=57 мм
Экибастузский	20	6,5	7,2	6,9	7,6	7,3	8,1
Подмосковный	20	7,3	8,1	7,7	8,5	8,2	9,0
АШ	10	12,0	13,2	12,5	13,9	13,3	14,7
Донецкий тощий	15	11,4	12,6	11,9	13,2	12,7	14,0
Карагандинский	20	7,0	7,8	7,4	8,2	7,8	8,7

При проектировании шахматных пучков, с целью предотвращения повышенного износа, рекомендуется принимать $\sigma_2 > 1{,}5$.

В перегревателях предельно допустимая скорость газов для труб, расположенных в зоне температур газов не выше 900 °С, проверяется по формуле (II-6). При более высоких температурах износ труб значительно снижается.

Золовой износ входных участков теплообменных труб трубчатого воздухоподогревателя

$$J = 37 a k_{\mu} \mu \tau \left(\frac{k_w}{k_D} w \right)^3 k_э \exp(0{,}041\beta), \text{ мм}, \qquad \text{(II-9)}$$

где k_{μ} - коэффициент неравномерности распределения концентрации золы по сечению: для встроенного в конвективную шахту воздухоподогревателя k_{μ}=1,6; для воздухоподогревателя вынесенной компоновки k_{μ}=2,0;

k_w - коэффициент неравномерности распределения скорости по сечению: для встроенного в конвективную шахту воздухоподогревателя k_w=1,45; для воздухоподогревателя вынесенной компоновки k_w=2,0;

$k_э$ - коэффициент защиты: для ячейковой защиты и наставок большого диаметра $k_э$=0,25; при плавном входе в трубу $k_э$=0,6; для вставок $k_э$=0,5. Если защиты нет, то $k_э$=1,0;

β - угол (градусы) между вектором скорости набегающего на трубную доску потока продуктов сгорания и продольными осями теплообменных труб. При прямом подводе (встроенный в конвективную шахту воздухоподогреватель) β=0°. Формула справедлива для диапазона $0° \le \beta \le 60°$.

Остальные обозначения - см. (II-6).

Используя формулу (II-9), можно оценить время массового появления сквозного износа входных участков труб или при заданном времени эксплуатации оценить допустимую скорость и необходимость установки защитных устройств.

15. Если износ не ограничивает скорость газов, то ее в шахматных поверхностях нагрева котлов при номинальной нагрузке рекомендуется принимать в следующих пределах:

экономайзер	-10–15 м/с;
промежуточный перегреватель (перлитная сталь)	-17–20 м/с;
первичный перегреватель (аустенитная сталь)	-17–20 м/с;
первичный перегреватель (перлитная сталь)	-12–16 м/с.

Для коридорных пучков скорости газов могут быть увеличены на 30 %.

В трубчатых воздухоподогревателях рекомендуется принимать скорость газов 10–13 м/с, скорость воздуха 4,5–6,0 м/с. Во вращающихся воздухоподогревателях скорость газов 9–11 м/с, скорость воздуха 6–8 м/с. По условию самоочистки рекомендуется принимать верхний предел указанных скоростей газов.

Для пластинчатых, ребристых и ребристо-зубчатых воздухоподогревателей рекомендуются следующие соотношения скоростей воздуха и газов:

ребристые и пластинчатые	$w_в / w_г$=1,0;
ребристо-зубчатые	$w_в / w_г$=0,7.

16. В котлах, работающих на твердых топливах и мазуте, необходимо предусмотреть очистку поверхностей нагрева от отложений золы и продуктов неполного сгорания топлива.

Для очистки топочных экранов котлов, работающих на твердых топливах, рекомендуется применять аппараты водяной и паровой очистки. Для очистки ширмовых и конвективных перегревателей и котельных пучков, расположенных в горизонтальном газоходе, предпочтение отдается паровым обдувочным аппаратам или устройствам газоимпульсной очистки.

Для очистки конвективных поверхностей нагрева, расположенных в вертикальной шахте, при сжигании топлив, дающих плотные отложения (мазут, АШ, сланцы, березовские угли и др.), следует применять паровую, газоимпульсную или дробевую очистку.

Для очистки вращающихся регенеративных воздухоподогревателей применяются паровые и воздушные обдувочные аппараты или устройства газоимпульсной очистки. В котлах, сжигающих сернистый мазут, для РВП необходимы также промывочные устройства, использование которых рекомендуется только перед текущим или капитальным ремонтами котла.

Для эффективного применения паровой обдувки ширина поперечного зазора между параллельными рядами труб в конвективных пучках во всех случаях должна быть не менее 55 - 60 мм. При топливах, дающих плотные связанные отложения (бурые угли Канско-Ачинского бассейна и др.), и расположении поверхности нагрева в зоне температур газов свыше 800 °С, ширину поперечного зазора $s_1 - d$ для коридорных и $s_1/2 - d$ для шахматных пучков рекомендуется принимать ≥110-120 мм, в конвективных пучках небольшой глубины (≤ 1 м) - 95-100 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПАРООХЛАДИТЕЛЕЙ И ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Для регулирования температуры пара и пара промперегрева в котлах применяются следующие теплообменные устройства:

впрыскивающие пароохладители с впрыском питательной воды или «собственного» конденсата, получаемого в конденсаторах впрыска, паропаровые теплообменники, поверхностные пароохладители, газопаровые теплообменники.

Ниже приводятся указания для определения конструктивных характеристик устройств по заданному тепловосприятию или, наоборот, тепловосприятия при заданной конструкции. Указания по дополнительной проверке надежности и определению перепадов давления см. в Нормативном методе «Гидравлический расчет котельных агрегатов».

III-А. Впрыскивающие пароохладители

1. Впрыскивающие пароохладители (ВПО) размещают на прямолинейных участках паропроводов (иногда в коллекторах), обычно между ступенями пароперегревателя. Основной характеристикой ВПО является длина, на которой заканчиваются процессы тепло- и массообмена между паром и впрыскиваемой водой. На выходе из пароохладителя пар остается перегретым.

2. ВПО с цилиндрической защитной рубашкой и струйной форсункой применяются при подаче на впрыск питательной воды. Они устанавливаются в основных пароохладителях первичного тракта, а также в трактах промперегрева. Водоподающее устройство выполняется в виде перфорированной трубы или перфорированного днища трубы, с диаметром отверстий 3-5 мм. Скорость воды в отверстиях при максимальном расходе воды на впрыск и номинальной нагрузке допускается 15-25 м/с; большее значение скорости воды принимается для котлов на давление $p_{пе} \geq 15$ МПа.

3. ВПО с трубой Вентури применяются в случаях ограниченного давления впрыскиваемой воды, например, в схемах впрыска «собственного» конденсата, для увеличения разности давлений впрыскиваемого конденсата и пара в месте впрыска в горловине трубы Вентури. Они устанавливаются также и в тех случаях, когда необходимо сократить длину испарительного участка. Сопротивление по пару ВПО с трубой Вентури больше сопротивления ВПО с цилиндрической защитной рубашкой. Диаметр отверстий для ввода конденсата - 3–5 мм. Количество отверстий выбирается таким, чтобы при расходе воды, соответствующем 5 % впрыску при минимальной нагрузке котла, скорость воды была не меньше:

в отверстиях, расположенных на поверхности горловины трубы Вентури, – 2-3 м/с;

в отверстиях на водоподающей трубе –1 м/с.

В котлах СКД труба Вентури, как правило, не устанавливается.

4. Длина защитной рубашки ВПО определяется длиной испарительного участка и рассчитывается на удвоенную величину расчетного впрыска при минимальной расчетной нагрузке котла. Если пароохладитель используется в пусковом режиме, то длина защитной рубашки определяется для этого режима.

Длина испарительного участка защитной рубашки зависит от массовой скорости пара в месте впрыска $w\rho_п$, его давления p, разностей температур пара и впрыскиваемой воды в начале $\Delta t_н = t'_{пп} - t_{н.п}$ и в конце $\Delta t_к = t''_{пп} - t_{н.п}$ участка испарения и для трубы Вентури степени сжатия сечения $m = (d_{сж}/d_{пп})^2$, где $d_{сж}$ и $d_{пп}$, м, - диаметры сжатого сечения трубы Вентури и паропровода.

Влияние диаметра отверстий ввиду его незначительности не учитывается.

Значение $w\rho_п$ для расчета длины цилиндрического испарительного участка обычно приближенно определяется по полному расходу охлаждаемого пара $D_{пе}$ и сечению корпуса ВПО (паропровода). Только при значительной ширине щели между корпусом и рубашкой $d_{э.щ}=d_{пп}-d_{э.р}$, определяющей относительный расход пара внутри защитной рубашки, $(D_{э.р}/D_{пе}) < 0{,}85$, значение $w\rho_п$ рассчитывается по расходу пара $D_{э.р}$. В этом случае значение $t''_п$ определяется с учетом того, что весь расчетный расход впрыскиваемой воды охлаждает расход пара $D_{э.р}$.

Значение $w\rho_п$ в ВПО с трубой Вентури определяется по полному расходу пара $D_{пе}$.

При расчетах разностей температур температура охлаждающей воды принимается равной температуре насыщения при давлении в паропроводе. Для котлов СКД она принимается условно равной 400 °С.

Длина испарительного участка от сечения впрыска:

впрыск струйной форсункой в цилиндрический корпус ВПО

$$l_{исп} = l_o k_p k_t, \text{ м;} \qquad \text{(III-1)}$$

впрыск в сжатом сечении трубы Вентури

$$l_{исп} = 5 l_o k_p k_t \frac{f_{сж}}{f_{пп}} = 5 l_o k_p k_t \left(\frac{d_{сж}}{d_{пп}}\right)^2, \text{ м.} \qquad \text{(III-2)}$$

где l_o - длина рубашки в зависимости от типа ВПО, м;

k_p, k_t - коэффициенты, учитывающие влияние давления пара и разностей температур в месте впрыска $\Delta t_н$ и в конце рубашки $\Delta t_к$.

По формулам (III-1) и (III-2) построена номограмма 42 для определения длины испарительного участка. Номограмма обоснована опытами, проведенными при $\Delta t_к > 50$ °С при впрыске в цилиндрический участок и $\Delta t_к > 20$ °С при впрыске в трубу Вентури.

В тех случаях, когда значение $\Delta t_к$ принимается меньшим, расчетная длина испарительного участка может оказаться недостаточной для полного испарения впрыскиваемой воды. Однако попавшее на стенки паропровода незначительное количество влаги с температурой, близкой к температуре пара в этом сечении, не приведет к аварийному разрушению паропровода.

Минимальная длина защитной рубашки за сечением впрыска принимается равной 0,5 м, максимальная (по условиям монтажа и предупреждения вибрации) порядка 5-6 м.

5. Толщина стенки защитной рубашки принимается не менее 4 мм по условиям сварки и предупреждения вибрации и не более предельно допустимой для предупреждения чрезмерных температурных напряжений при выпадении влаги на стенку. Предельно допустимая толщина стенки $\delta_{ст}^{пред}$, мм, определяется по рисункам III.1 и III.2 в зависимости от материала рубашки, давления и температуры пара на входе в ВПО.

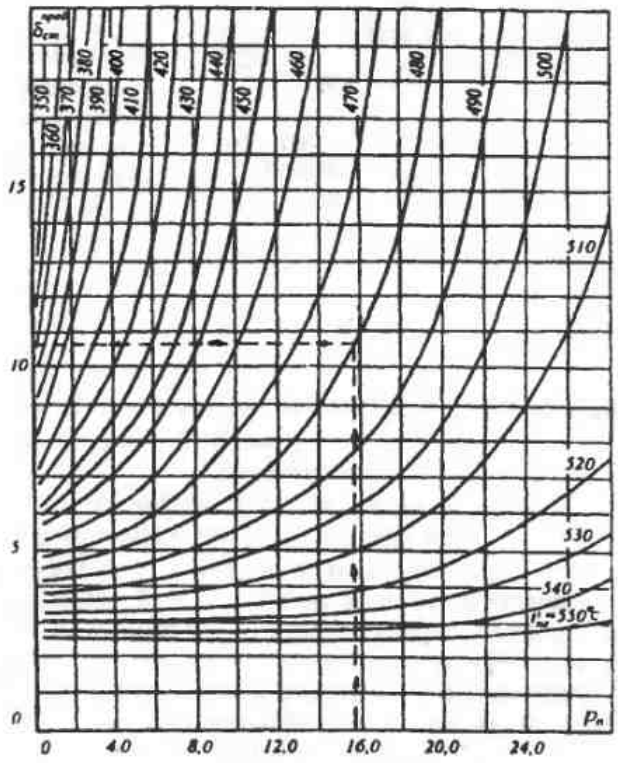


Рис. III.1 Предельно допустимая толщина стенки защитной рубашки (сталь 12Х1МФ).

6. Для обеспечения допустимого уровня температурных напряжений в штуцере водоподающего устройства ВПО его длина от наружной образующей корпуса до шва соединения с крышкой или днищем штуцера должна быть не меньше большей из длин, рассчитываемых по формулам:

$$L_1 = 2{,}8\sqrt{d_{шт}\delta_{шт}}, \text{ м,} \qquad \text{(III-3)}$$

$$L_2 = \frac{0{,}4\alpha E}{[\sigma]}\left(t'_{пе} - t_{впр}\right)\sqrt{d_{шт}\delta_{шт}}, \text{ м,} \qquad \text{(III-4)}$$

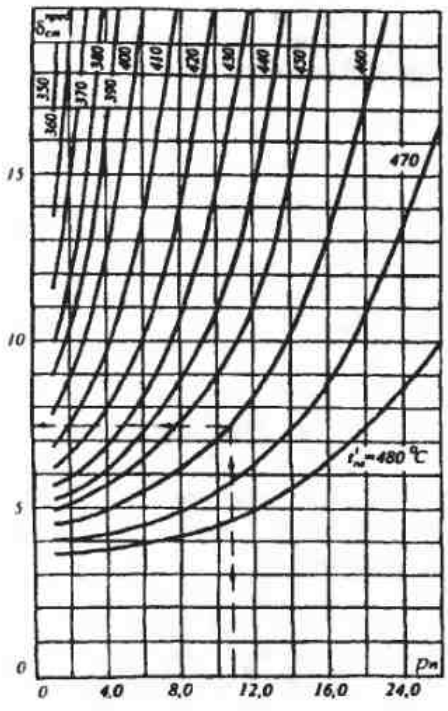


Рис. III.2. Предельно допустимая толщина стенки защитной рубашки (сталь 20).

где $d_{шт}$ - наружный диаметр штуцера, м;

$\delta_{шт}$ - толщина стенки основной части штуцера, м. Значение $\delta_{шт}$ определяется по Нормам прочности без дополнительного запаса, вызывающего повышение напряжения в стенке;

α, E, $[\sigma]$ - соответственно коэффициент линейного удлинения, 1/К; модуль упругости, МПа, и номинальное допустимое напряжение для стали, МПа, при температуре пара на входе в ВПО $t'_{пп}$;

$t_{впр}$ - температура впрыскиваемой воды, °С.

III-Б. Паропаровые теплообменники

7. Паропаровые теплообменники (ППТО), обогреваемые острым паром, разделяются на корпусные и типа «труба (трубы) в трубе». Соответственно различается характер движения потоков греющего и обогреваемого пара.

8. За расчетную поверхность нагрева принимается поверхность труб на стороне обогреваемого пара с диаметром d_2. Средний температурный напор определяется как среднелогарифмическая разность температур с учетом взаимного направления движения обеих сред.

9. Коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad \text{(III-5)}$$

где α_1 и α_2 - коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м^2·К), соответственно от греющего пара к внутренней стенке труб диаметром d_1 и от наружной стенки труб диаметром d_2 к пару промперегрева;

$\lambda_м$ - коэффициент теплопроводности стенки труб, Вт/(м·К); определяется по средней температуре греющего пара в теплообменнике по табл. 8-1.

10. Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 определяются в зависимости от характера омывания поверхности нагрева по указаниям гл. 7. Физические характеристики, входящие в формулы для определения коэффициентов теплоотдачи, принимаются по средним температурам соответствующих сред.

Расходы и скорости сред в теплообменнике определяются с учетом доли от общего расхода среды, направляемой в теплообменник.

10.1. При продольном течении греющего пара внутри труб коэффициент теплоотдачи от пара к стенке α_1 определяется по указаниям п. 7-30 с учетом формы канала.

При движении греющего пара в трубе спирального (винтового) змеевика коэффициент теплоотдачи от пара к стенке

$$\alpha_1 = \alpha_1^* \cdot \left[1 + \frac{6{,}3}{2}\left(1 - \frac{d_1}{d_{зм}}\right)\left(\frac{d_1}{d_{зм}}\right)^{1{,}15}\right], \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad \text{(III–6)}$$

где α_1^* - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К); определяется по указаниям п. 7-30;

d_1, $d_{зм}$ - диаметры: внутренний и навивки змеевика (по осям труб), м.

10.2. Коэффициент теплоотдачи от стенки к обогреваемому пару при продольном омывании поверхности нагрева определяется по указаниям п. 7-30. При расчете теплообменника конструкции ЗиО (пучок труб в U-образной трубе, по которой протекает обогреваемый пар), рассчитанное значение коэффициента теплоотдачи умножается на коэффициент 1,2,

учитывающий увеличение теплоотдачи из-за поворота потока пара. Для теплообменников типа «труба в трубе» вводится коэффициент 1,1.

При поперечном омывании поверхности нагрева коэффициент теплоотдачи определяется по указаниям п.п. 7-19 – 7-23 в зависимости от компоновки пучка. При протекании пара в камерах корпусных теплообменников может вводиться коэффициент омывания поверхности нагрева, меньший единицы.

III-В. Теплообменники для получения «собственного» конденсата и поверхностные пароохладители

11. Расчетная поверхность нагрева определяется по среднему диаметру труб. Коэффициент теплопередачи, кроме случая, указанного в п. 16:

$$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}},\ \text{Вт/(м}^2\text{К)}, \qquad \text{(III-7)}$$

где ξ- коэффициент использования поверхности нагрева. Для горизонтальных пароохладителей, охлаждаемых некипящей водой, принимается $\xi = 0{,}9$;

α_1 - коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки труб диаметром d_1 к охлаждающей воде, Вт/(м^2·К); определяется по п. 14;

$\lambda_м$ - коэффициент теплопроводности металла труб, Вт/(м·К). Для расчета принимается равным $\lambda_м$ =35 Вт/(м·К);

α_2 - коэффициент теплоотдачи от пара к наружной стенке труб диаметром d_2, Вт/(м^2·К); определяется по п.п. 12 и 13.

12. Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при охлаждении труб некипящей водой для теплообменников с горизонтальным малорядным ($z \le 10$) пучком труб, омываемых вертикальным потоком пара, рассчитывается по формуле (III-8), полученной для случая омывания вертикального пучка труб. При этом за омываемую длину принимается высота пучка горизонтальных труб.

Скорость пара в камере теплообменника $w_п$ определяется по среднему между начальным и конечным расходами пара. Живое сечение для прохода пара подсчитывается следующим образом: для каждого горизонтального ряда труб определяется сумма свободных промежутков между трубами

$$b_{св.i} = a_i - n_i d_2,\ \text{м},$$

затем живые сечения рядов усредняются пропорционально поверхностям нагрева H_i рядов

$$f_{ср} = \frac{l\Sigma H_i}{\frac{H_1}{b_{св.1}} + \frac{H_2}{b_{св.2}} + \cdots},\ \text{м}^2.$$

Здесь a_i - ширина i-го сечения камеры, в котором располагается i-й ряд труб, м;

l - длина камеры, м;

n_i - количество труб в i-м ряду.

Средний коэффициент теплоотдачи от пара к наружной стенке трубы

$$\alpha_2 = 0{,}925\lambda'\left(\frac{g}{\nu'^2}\right)^{\frac{1}{3}} \mathrm{Re}_{пл}^{-0{,}28}\left[1 + (0{,}075BA)^3\right]^{0{,}33},\ \text{Вт/(м}^2\text{·К)}, \qquad \text{(III-8)}$$

где $A = \frac{w''_{вх}}{(g\nu')^{1/3}}\left(\frac{\rho'}{\rho''}\right)^{2/3}\left(\frac{\mu''}{\mu'}\right)^{0{,}1}(\mathrm{Pr}')^{0{,}5}\left(1 + x_{вых}\right)^{0{,}8}\left(1 - x_{вых}\right)^{0{,}2}$; $\quad \mathrm{Re}_{пл} = \frac{ql}{r\mu'}$.

Физические характеристики конденсата на линии насыщения:

λ' - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

ν' - коэффициент кинематической вязкости, м^2/с,

μ' - коэффициент динамической вязкости, Па·с;

ρ' - плотность, кг/м^3,

Pr' - критерий Прандтля

То же с индексом ($''$) - физические характеристики насыщенного пара;

g - ускорение силы тяжести, м/с^2;

$w''_{вх}$ - скорость пара во входном сечении пучка, м/с;

$x_{вых}$ - массовое расходное паросодержание на выходе из пучка;

B - коэффициент; принимается равным 0,7;

q - средняя плотность теплового потока, Вт/м^2;

l - длина пути пара; принимается равной высоте пучка, м;

r - теплота парообразования, Дж/кг.

13. Для теплообменников, описанных в п. 12, коэффициент теплоотдачи от пара к стенке при охлаждении труб водой или пароводяной смесью, температура которых превышает температуру насыщения охлаждаемого пара, определяется в зависимости от компоновки пучка по п. 7-19 или 7-20. При сложном омывании может вводиться коэффициент омывания, меньший единицы.

14. Коэффициент теплоотдачи от стенки к некипящей воде определяется по формуле (7-55) или номограмме 13.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящей воде (пароводяной смеси) для углеродистых труб, на которых образуется оксидная пленка, определяется по п. 8-17.

Для определения коэффициента теплоотдачи предварительно задаются значением удельного тепловосприятия поверхности нагрева q, а после определения коэффициента теплопередачи k оценивают по формуле

$$q = k(t - t_s), \quad \text{Вт/м}^2,$$

где t - средняя температура пара, °С.

Если расхождение между принятой и полученной величинами q больше 25 %, то значения α, k и q уточняются.

15. Температурный напор рассчитывается по (7-74). При охлаждении некипящей водой температура пара принимается равной температуре насыщения; при охлаждении кипящей водой температурный напор рассчитывается по фактическим начальной и конечной температурам пара.

16. Коэффициент теплопередачи охлаждаемых питательной водой горизонтальных пароохладителей, расположенных в камерах насыщенного пара, а также в промежуточных камерах, в которых скорость пара не превышает 1,5 м/с, при наружном диаметре змеевиков 15 - 20 мм, внутреннем диаметре камер меньше 300 мм и скорости воды до 2,0 м/с приближенно оценивается по эмпирической зависимости

$$k = 2000 w_ж, \quad \text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}, \qquad \text{(III-9)}$$

где $w_ж$ - средняя скорость воды в змеевиках (трубах) пароохладителя, м/с; определяется по фактическому расходу воды.

17. При выборе пароохладителя следует учитывать, что из-за повышения температурного напора в перегревателе, вызываемого снижением температуры пара за пароохладителем, величина тепловосприятия пароохладителей, размещенных в коллекторе насыщенного пара или в «рассечке» перегревателя, превышает заданное снижение энтальпии перегретого пара ориентировочно на 15-30 % в зависимости от удаления пароохладителя от конца перегревателя (наибольшее превышение - при расположении в коллекторе насыщенного пара).

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Таблица I

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Рабочая масса топлива состав, %								Низшая теплота сгорания		Зольность на сухую массу	Предельные значения, %		Влага гигроскопическая	Приведенные значения		Выход летучих	Теплота сгорания по бомбе	
				W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	A^d %	W_t^r	A^d	W^{ra} %	W_{np}^r %	A_{np}^r кг/МДж	V^{daf} %	Q_6^{daf} МДж/кг	Q_6^{daf} ккал/кг
	Россия, Украина																					
1	Донецкий бассейн	Д	Р	13.0	27.8	1.7	1.2	44.1	3.3	0.9	8.0	17.25	4120	32.0	18.0	35.0	4.5	3.16	6.75	43.0	31.40	7500
2	Донецкий бассейн	Д	отсев	14.0	28.4	2.2	1.2	42.6	3.2	0.9	7.5	16.71	3990	33.0	18.0	37.5	6.0	3.51	7.12	44.0	31.40	7500
3	Донецкий бассейн	Д	концентрат	14.0	24.9	1.4	1.2	46.4	3.4	1.0	7.7	17.88	4270	29.0	16.5	30.0	4.5	3.28	5.83	42.0	31.56	7540
4	Донецкий бассейн	Г	Р	10.0	28.8	2.0	1.0	48.3	3.4	0.9	5.6	18.92	4520	32.0	12.0	37.5	3.0	2.21	6.37	40.0	33.08	7900
5	Донецкий бассейн	Г	отсев	11.0	29.4	2.5	1.0	46.5	3.3	0.9	5.4	18.21	4350	33.0	15.0	37.5	3.0	2.52	6.76	41.0	32.87	7850
6	Донецкий бассейн	Г	концентрат	13.0	14.8	1.2	1.2	57.8	3.8	1.1	7.1	23.03	5500	17.0	15.0	20.0	3.0	2.36	2.69	39.0	33.91	8100
7	Донецкий бассейн	Г	промпродукт	12.0	35.2	2.0	0.9	40.1	3.0	0.8	6.0	15.74	3760	40.0	17.0	45.0	3.5	3.19	9.36	42.0	32.24	7700
8	Донецкий бассейн	Г	шлам	20.0	33.6	1.7	0.8	35.5	2.6	0.7	5.1	13.61	3250	42.0	23.0	45.0	3.5	6.15	10.34	42.0	32.24	7700
9	Донецкий бассейн	Ж	Р	6.0	30.1	1.8	0.7	53.4	3.3	1.0	3.7	21.14	5050	32.0	8.0	37.5	1.5	1.19	5.96	32.0	34.96	8350
10	Донецкий бассейн	ОС	Р	5.0	26.6	2.1	0.7	59.5	3.1	1.0	2.0	23.24	5550	28.0	6.0	37.5	1.0	0.90	4.79	19.0	35.59	8500
11	Донецкий бассейн	Ж, ОС	промпродукт	12.0	37.0	2.1	0.5	41.1	2.7	0.8	3.8	16.12	3850	42.0	15.0	45.0	1.3	3.12	9.61	20 - 33.0	33.91	8100
12	Донецкий бассейн	Ж, ОС	шлам	15.0	34.8	1.9	0.5	40.6	2.6	0.8	3.8	15.91	3800	41.0	20.0	42.0	1.3	3.94	9.17	20 - 33.0	34.12	8150
13	Донецкий бассейн	Т	Р	6.0	32.0	1.5	0.7	55.2	2.5	1.0	1.1	20.60	4920	34.0	8.0	35.0	1.5	1.22	6.50	12.0	34.54	8250
14	Донецкий бассейн	А	штыб, СШ	8.5	34.8	1.0	0.5	52.2	1.0	0.5	1.5	18.23	4355	38.0	9.0	40.0	2.5	1.93	7.89	4.0	33.24	7940
15	Донецкий бассейн	А	шлам	20.0	36.0	0.9	0.3	40.3	0.8	0.3	1.4	13.63	3255	45.0	—	47.0	2.5	6.08	10.94	5.0	32.87	7850
	Украина																					
	Новые месторождения и участки Донецкого бассейна																					
16	Новомосковское	ЗБ, Д	—	25.0	15.0	0.9	0.5	44.4	3.2	0.8	10.2	16.75	4020	20.0	—	—	—	6.25	3.75	43.0	30.35	7250
17	Новомосковское	Д, Г	—	22.5	15.5	0.9	0.5	46.5	3.3	0.9	9.9	17.58	4200	20.0	—	—	10.0	5.36	3.69	42.0	30.77	7350
18	Привольнянское	Д	—	13.0	21.8	1.4	1.4	49.9	3.6	1.0	7.9	19.68	4700	25.0	—	—	5.0	2.77	4.63	42.0	32.45	7750
19	Северо-Александровские 1-2	Д, Г	—	14.0	21.5	2.1	0.9	48.2	3.3	1.0	9.0	18.76	4480	25.0	16.0	30.0	7.0	3.13	4.80	41.0	31.28	7470
20	Успеновские 1-4	Д, Г	—	14.0	23.2	1.3	0.7	48.4	3.3	1.3	7.8	18.46	4410	27.0	–	—	—	3.17	5.26	42.0	31.82	7600
21	Новосветловское	Г	—	11.0	22.3	2.1	1.0	52.0	3.7	1.1	6.8	20.52	4900	25.0	—	—	3.0	2.24	4.55	44.0	32.87	7850
22	Светлановский	Г	–	10.0	28.8	1.0	1.8	49.0	3.3	1.1	5.0	19.48	4650	32.0	—	—	2.0	2.15	6.19	38.0	33.87	8090
23	Чалаевский рудник	Г	—	11.0	22.3	1.9	1.1	53.4	3.7	1.1	5.5	21.10	5040	25.0	—	—	3.0	2.18	4.41	40.0	33.79	8070
24	Углегорский Восточный	Т, А	—	5.0	24.7	1.8	0.6	62.7	2.7	1.1	1.4	23.70	5660	26.0	—	—	1.3	0.83	4.36	7.5	35.09	8380
25	Ольховатский	А	—	5.0	24.7	1.6	0.6	64.1	2.2	1.2	0.6	23.57	5630	26.0	—	—	1.5	0.89	4.39	7.0	34.79	8310
26	Володарский рудник	А	—	7.5	20.4	1.2	0.6	68.1	0.9	0.5	0.8	23.03	5500	22.0	—	—	4.5	1.36	3.70	3.0	34.12	8150
27	Миусский 1-2	А	—	6.0	24.4	1.4	0.6	63.5	2.1	0.8	1.2	23.45	5600	26.0	—	—	3.0	1.07	4.36	4.0 - 7.0	34.75	8300
	Россия																					
28	Кузнецкий бассейн	Д	Р, СШ	11.5	15.9	0.4		56.4	4.0	1.9	9.9	21.90	5230	18.0	13.0	25.0	4.5	2.20	3.04	40.5	31.94	7630
29	Кузнецкий бассейн	Г	Р, МСШ, СШ	8.5	16.9	0.4		60.1	4.2	2.0	7.9	23.57	5630	18.5	11.0	25.0	3.0	1.51	3.01	39.5	33.28	7950
30	Кузнецкий бассейн	Г	промпродукт	13.0	28.7	0.6		46.6	3.4	1.8	5.9	18.09	4320	33.0	15.0	40.0	2.9	3.01	6.64	41.5	33.08	7900
31	Кузнецкий бассейн	Г	шлам	21.5	10.2	0.5		54.3	3.9	1.6	8.0	20.98	5010	13.0	25.0	15.0	3.1	4.29	2.03	40.5	32.95	7870
32	Кузнецкий бассейн	ТСС	Р, СШ	9.0	18.2	0.4		60.8	3.6	1.5	6.5	23.40	5590	20.0	12.0	30.0	3.0	1.61	3.25	31.0	33.75	8060

Продолжение таблицы I

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Рабочая масса топлива состав, %								Низшая теплота сгорания		Зольность на сухую массу	Предельные значения, %		Влага гигроскопическая	Приведенные значения		Выход летучих	Теплота сгорания по бомбе	
				W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	A^d %	W_t^r	A^d	$W^{гн}$ %	$W_{пр}^r$ % кг/МДж	$A_{пр}^r$	V^{daf} %	$Q_б^{daf}$ МДж/кг	$Q_б^{daf}$ ккал/кг
33	Кузнецкий бассейн	2СС	Р, СШ	8.5	16.5	0.4		66.0	3.5	1.6	3.5	25.33	6050	18.0	12.0	30.0	1.8	1.40	2.72	20.0	35.17	8400
34	Кузнецкий бассейн	Т	Р, СШ	7.0	14.6	0.5		70.2	3.0	1.7	3.0	25.12	6000	20.0	10.0	25.0	1.8	1.17	3.10	12.5	34.96	8350
35	Кузнецкий бассейн	Ж	промпродукт	6.0	39.5	0.7		45.2	3.1	1.6	3.9	17.71	4230	42.0	10.0	45.0	1.4	1.42	9.33	37.0	34.33	8200
36	Кузнецкий бассейн	К	промпродукт	8.5	33.9	0.3		49.5	2.8	1.4	3.6	19,01	4540	37.0	12.0	45.0	1.7	1.87	7.45	24.0	34.58	8260
37	Кузнецкий бассейн	А	Р	10.0	16.2	0.4		68.8	1.5	0.8	2.3	24.16	5770	18.0	12.0	20.0	4.5	1.73	2.81	5.0	33.62	8030
38	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Д	РОК I	18.0	17.2	0.4		48.3	3.2	1.4	11.5	18.00	4300	21.0	23.0	26.0	8.5	4.19	4.00	41.0	29.73	7100
39	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК I	15.0	17.0	0.4		53.4	3.5	1.6	9,1	20.52	4900	20.0	18.0	25.0	—	2.89	2.95	39.5	31.82	7600
40	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК II	19.5	20.1	0.3		44.5	2.7	1.4	11.5	16.33	3900	25.0	27.0	27.5	8.5	5.00	5.16	41.5	29.01	6930
41	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК I	10.5	14.8	0.4		61.4	3.4	1.5	8.0	23.11	5520	26.5	15.0	28.0	3.2	1.90	2.67	33.5	32.40	7740
42	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК II	21.0	13.4	0.3		48.2	2.2	1.3	13.6	16.75	4000	17.0	24.0	20.0	12.0	5.25	3.36	33.0	27.21	6500
43	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК I	12.0	18.5	0.3		59.1	2.9	1.5	5.7	22.19	5300	21.0	17.0	27.0	4.0	2.26	3.49	21.5	33.41	7980
44	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК II	19.0	18.6	0.3		47.4	2.1	1.2	11.4	16.45	3930	23.0	27.0	30.0	9.5	4.83	4.74	28.5	28.01	6690
45	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК I	9.7	20.3	0.3		61.4	2.1	1.5	4.7	22.06	5270	22.5	15.0	25.0	5.9	1.84	3.85	14.0	32.66	7800
46	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК II	13.0	20.0	0.3		53.3	1.9	1.3	10.2	18.46	4410	23.0	17.0	25.0	9.0	2.95	4.54	24.0	28.85	6890
47	Талдинский разрез	Г	РОК II	24.0	20.5	0.2		40.5	2.5	1.3	11.0	14.40	3440	27.0	30.0	30.0	11.0	6.98	5.96	41.0	28.05	6700
	Казахстан																					
48	Карагандинский бассейн	К	Р, отсев	9.0	34.6	0.7		46.8	2.9	0.8	5.2	18.13	4330	38.0	12.0	40.0	1.8	2.08	7.99	28.0	33.83	8080
49	Карагандинский бассейн	К	концентрат	10.0	20.7	0.8		59.3	3.6	1.0	4.6	22.90	5470	23.0	12.0	25.0	1.8	1.83	3.78	27.0	34.54	8250
50	Карагандинский бассейн	К	промпродукт	10.0	38.7	0.8		41.8	2.7	0.6	5.4	16.24	3880	43.0	12.5	48.0	2.0	2.58	10.00	30.0	33.49	8000
51	Карагандинский бассейн	К	шлам	16.0	30.2	0.8		44.7	2.9	0.6	4.8	16.96	4050	36.0	18.0	38.0	2.0	3.95	7.57	28.0	33.75	8060
52	Куучекинское	2К	Р	7.0	40.9	0.3	0.3	44.1	2.8	0.8	3.8	16.58	3960	44.0	—	45.0	1.9	1.77	10.33	21.0	33.49	8000
53	Борлинское	2К	Р	7.5	40.7	0.6		41.8	2.8	0.7	5.9	16.12	3850	44.0	12.0	48.0	1.5	1.95	10.57	31.0	32.91	7860
	Экибастузский бассейн																					
54	1-я гр. зольности	СС	Р	6.5	36.9	0.4	0.3	44.8	3.0	0.8	7.3	17.38	4150	39.5	—	43.0	2.5	1.57	8.89	25.0	32.36	7730
55	2-я гр. зольности	СС	Р	5.0	45.6	0.6		38.4	2.7	0.8	6.9	14.61	3490	48.0	—	53.0	2.1	1.43	13.07	25.0	31.44	7510
	Тургайский бассейн																					
56	Кушмурунское	2Б	Р	37.0	14.5	1.5		34.0	2.5	0.6	9.9	12.23	2920	23.0	40.0	28.0	10.0	12.67	4.97	48.5	28.47	6800
57	Прнозерное	2Б	Р	36.0	14.7	0.6		34.7	2.5	0.5	11.0	12.31	2940	23.0	40.0	28.0	11.0	12.24	5.01	48.2	28.09	6710
58	Орловское	2Б	Р	34.0	19.1	0.9		32.2	2.2	0.6	11.0	11.35	2710	29.0	38.0	34.0	8.5	12.55	7.05	45.0	27.21	6500
	Майкюбинскнй бассейн																					
59	Шоптыкольское	3Б	Р	18.0	24.6	0.5		41.6	3.0	0.6	11.7	15.62	3730	30.0	23.0	35.0	8.0	4.82	6.60	41.0	29.31	7000
60	Сарыкольское[1]	3Б		23.5	23.0	0.5		40.1	2.7	0.5	9.7	14.53	3470	30.0	—	35.0	8.0	6.77	6.61	40.5	29.56	7060
	Россия																					
	Подмосковный бассейн																					
61	Бассейн в целом[2]	2Б	Р, ОМСШ	32.1	30.6	1.6	0.9	24.3	1.9	0.4	8.2	8.67	2070	45.0	40.0	48.0	7.5	15.45	14.78	48.0	27.00	6450
62	в т.ч., высокозольный уголь	2Б	Р, ОМСШ	31.0	32.4	1.1	0.8	23.4	2.0	0.4	8.9	8.33	1990	47.0	37.0	50.0	7.0	15.58	16.28	55.0	26.59	6350

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Рабочая масса топлива состав, %								Низшая теплота сгорания		Зольность на сухую массу	Предельные значения, %		Влага гигроскопическая	Приведенные значения		Выход летучих	Теплота сгорания по бомбе	
				W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	A^d %	W_t^r	A^d	$W^{гн}$ %	$W_{пр}^r$ % кг/МДж	$A_{пр}^r$	V^{daf} %	$Q_б^{daf}$ МДж/кг	$Q_б^{daf}$ ккал/кг
	Печорский бассейн																					
63	Интинское	Д	Р, отсев	11.5	28.8	1.7	0.8	44.2	2.9	1.5	8.6	16.87	4030	32.5	13.0	33.0	7.0	2.85	7.15	40.0	30.15	7200
64	Воркутинское	Ж	Р, отсев	8.0	29.4	0.6	0.4	52.6	3.3	1.5	4.2	20.77	4960	32.0	9.0	35.0	2.5	1.61	5.93	33.0	34.75	8300
	Украина																					
65	Днепровский бассейн	1Б	Р	54.0	16.6	0.4	1.5	19.5	1.7	0.2	6.1	6.38	1525	36.0	—	—	10.0	35.41	10.89	59.0	28.30	6760
	Львовско-Волынский бассейн																					
66	Волынское	Г	Р, отсев	10.0	27.0	1.9	0.9	49.8	3.3	0.9	6.2	19.47	4650	30.0	12.0	32.0	3.5	2.15	5.81	39.0	32.87	7850
67	Межреченское	ГЖ	Р	8.0	32.2	2.1	0.7	48.7	3.3	0.7	4.3	19.38	4630	35.0	10.0	38.0	1.5	1.73	6.95	36.0	34.54	8250
	Россия																					
68	Кизеловский бассейн	Ж	Р	6.0	32.0	3.7	1.6	48.6	3.5	0.6	4.0	19.68	4700	34.0	7.0	37.0	1.1	1.25	6.69	43.0	34.12	8150
69	Кизеловский бассейн	Г	Р, МСШ, промпродукт	7.5	37.9	3.0	1.3	41.5	3.2	0.5	5.1	16.71	3990	41.0	10.0	45.0	1.2	1.85	9.36	45.0	33.07	7900
70	Кизеловский бассейн	Г	промпродукт, шлам	18.0	35.3	5.8	1.4	32.2	2.5	0.6	4.2	13.90	3320	43.0	20.0	45.0	1.0	5.42	10.63	44.0	32.32	7720
71	Челябинский бассейн	3Б	Р, отсев	17.0	35.7	0.8		33.6	2.5	0.9	9.5	12.56	3000	43.0	24.0	45.0	8.0	5.67	11.90	44.0	28.47	6800
72	Волчанское и Богословское	3Б	Р	22.0	35.1	0.2		27.5	2.1	0.5	12.6	9.52	2275	45.0	30.0	47.0	9.5	9.67	15.43	47.0	24.70	5900
73	Бабаевское	1Б	Р	56.0	10.1	0.9		23.2	2.1	0.2	7.5	8.10	1935	23.0	59.0	25.0	10.0	28.94	5.22	65.0	29.52	7050
74	Тульганское	1Б	Р	52.0	14.4	0.4		22.2	2.1	0.3	8.6	7.45	1780	30.0	55.0	33.0	8.5	29.21	8.09	65.5	27.63	6600
	Грузия																					
75	Ткибульское	Д	МСШ	13.0	34.8	1.3	0.7	37.3	3.1	0.5	9.3	14.70	3510	40.0	15.0	45.0	4.0	3.70	9.91	46.0	30.35	7250
76	Ткибульское	Г	Р, шлам, промпродукт	15.0	25.5	1.7		44.9	3.5	0.9	8.5	17.08	4080	30.0	16.0	35.0	3.0	3.68	6.25	44.0	31.40	7500
77	Ткварчельское	Ж	промпродукт	11.5	35.0	0.9	0.4	42.5	3.2	0.9	5.6	16.31	3895	39.5	13.0	42.0	1.5	2.95	8.98	36.0	32.47	7755
	Узбекистан																					
78	Ангренское	2Б	ОМСШ	34.5	14.4	1.3		39.1	1.9	0.2	8.6	13.44	3210	22.0	40.0	25.0	11.0	10.75	4.49	33.5	29.09	6950
79	Шаргуньское	СС	СШ	6.0	17.4	0.7		65.0	3.4	0.5	7.0	25.95	6200	18.5	9.0	25.0	1.2	0.97	2.81	22.0	34.75	8300
	Киргизия																					
80	Кок-Янгак	Д	СШ	10.5	18.8	0.6	0.7	56.2	3.3	0.7	9.2	21.31	5090	21.0	17.5	25.0	5.0	2.06	3.69	34.0	31.81	7600
81	Таш-Кумыр	Д	СШ	14.5	25.7	1.1		44.6	2.9	0.7	10.5	16.66	3980	30.0	17.5	33.0	10.0	3.64	6.44	41.0	29.73	7100
82	Сулюктинское	3Б	СШ	22.0	16.4	0.5		47.7	2.5	0.4	10.5	17.00	4060	21.0	30.0	30.0	10.0	5.42	4.04	33.0	29.52	7050
83	Кызыл-Кия	3Б	СШ	28.0	13.0	0.8	0.4	45.4	2.4	0.5	9.5	16.16	3860	18.0	30.0	25.0	10.0	7.25	3.37	35.0	29.72	7100
84	Кара-Киче[1])	3Б	—	19.0	8.1	0.8		55.0	3.1	0.6	13.4	19.80	4730	10.0	—	—	11.0	4.02	1.71	37.0	28.88	6900
	Таджикистан																					
85	Шураб 1/2	3Б	Р	21.0	25.3	0.6	0.3	40.8	1.8	0.4	9.8	14.24	3400	32.0	30.0	35.0	10.0	6.16	7.41	37.0	28.47	6800
86	Шураб 8	3Б	СШ	28.0	17.3	1.0	0.3	42.7	1.7	0.4	8.6	14.57	3480	24.0	32.0	25.0	10.0	8.00	4.94	33.0	28.89	6900

Продолжение таблицы I

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Рабочая масса топлива состав, %								Низшая теплота сгорания		Зольность на сухую массу	Предельные значения, %		Влага гигроскопическая	Приведенные значения		Выход летучих	Теплота сгорания по бомбе	
				W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	A^d %	W_t^r	A^d	W^{ra} %	W_{np}^r %	A_{np}^r кг/МДж	V^{daf} %	$Q_б^{daf}$ МДж/кг	$Q_б^{daf}$ ккал/кг
	Россия																					
	Канско-Ачинский бассейн																					
87	Ирша-Бородинское	2Б	Р	33.0	7.4	0.2		42.6	3.0	0.6	13.2	15.28	3650	11.0	36.0	20.0	12.0	9.04	2.03	47.0	28.26	6750
88	Назаровское	2Б	Р	39.0	7.9	0.4		37.2	2.5	0.5	12.5	12.85	3070	13.0	40.0	20.0	13.0	12.70	2.57	47.0	27.30	6520
89	Березовское	2Б	Р	33.0	4.7	0.2		44.2	3.1	0.4	14.4	15.66	3740	7.0	38.0	12.0	12.0	8.82	1.25	48.0	27.63	6600
90	Боготольское[1)]	1Б	—	44.0	6.7	0.5		34.3	2.4	0.3	11.8	11.81	2820	12.0	—	—	13.5	15.60	2.38	48.0	27.42	6550
91	Абанское[1)]	2Б	—	33.5	8.0	0.4		41.5	2.9	0.6	13.1	14.74	3520	12.0	—	—	12.0	9.52	2.27	48.0	27.84	6650
92	Барандатское[1)]	2Б	—	37.0	4.4	0.2		41.9	2.9	0.4	13.2	14.82	3540	7.0	—	—	11.5	10.45	1.25	48.0	28.05	6700
93	Итатское[1)]	1Б	—	40.5	6.8	0.4		36.6	2.6	0.4	12.7	12.81	3060	11.5	—	—	13.0	13.24	2.24	48.0	27.42	6550
94	Большесырское[1)]	3Б	—	24.0	6.1	0.2		51.7	3.6	0.6	13.8	19.05	4550	8.0	—	—	11.5	5.28	1.34	44.0	29.79	7110
95	Черногорское	Д	Р, МСШ, СШ	14.0	21.5	0.5		49.7	3.3	1.3	9.7	18.84	4500	25.0	20.0	30.0	8.0	3.11	4.78	42.0	30.98	7400
96	Черемховское и Забитуйское	Д	Р, МСШ	15.0	29.8	0.9		42.5	3.1	0.6	8.1	16.41	3920	35.0	19.0	40.0	4.5	3.82	7.59	47.0	31.82	7600
97	Азейское	3Б	Р	25.0	16.5	0.5		42.7	3.1	0.9	11.3	15.99	3820	22.0	30.0	27.5	10.0	6.54	4.31	48.0	29.73	7100
98	Мугунское[1)]	3Б	—	22.0	15.6	0.9		46.0	3.6	0.9	11.0	17.29	4130	20.0	—	—	10.5	5.32	3.77	46.0	30.10	7190
99	Каахемское	Г	Р	5.0	14.3	0.4		65.0	4.8	1.0	9.5	25.41	6070	15.0	7.0	18.0	2.3	0.82	2.34	46.0	33.07	7900
100	Гусиноозерское (Холбольдж)	3Б	Р	26.0	18.5	0.4		39.4	2.8	0.6	12.3	14.32	3420	25.0	30.0	27.0	10.0	7.60	5.40	43.0	28.26	6750
101	Никольское[1)]	Д, ДГ	Р	6.0	19.7	0.4		58.3	4.1	1.0	10.5	22.44	5360	21.0	10.0	25.0	3.5	1.12	3.68	45.0	31.82	7600
102	Олонь-Шибирское	Д, ДГ	Р	7.5	16.7	0.5		58.3	4.1	0.8	12.1	21.01	5020	23.0	10.0	28.0	4.8	1.49	4.23	43.5	31.11	7430
103	Букачачинское	Г	Р	9.0	13.7	0.5		63.4	4.3	0.8	8.3	24.57	5870	15.0	12.0	17.0	4.0	1.53	2.32	42.0	33.49	8000
104	Татауровское	2Б	Р	33.0	10.7	0.2		41.1	2.8	0.7	11.5	14.69	3510	16.0	—	—	11.0	9.40	3.05	45.0	28.80	6880
105	Хараиорское	1Б	Р	40.0	13.2	0.3		33.5	2.2	0.5	10.3	11.39	2720	22.0	42.0	30.0	12.0	14.71	4.85	44.0	27.63	6600
106	Тарбагатайское	3Б	Р	31.5	15.4	1.8		41.4	3.0	0.9	6.0	15.78	3770	22.5	—	27.5	5.0	8.36	4.09	45.0	32.87	7850
107	Арбагарское	3Б	Р	28.5	16.4	0.4	1.0	38.4	2.7	0.8	11.8	13.52	3230	23.0	30.0	27.0	11.0	8.82	5.09	45.0	27.21	6500
108	Уртуйское[1)]	3Б	Р	29.5	8.8	0.3		46.9	3.0	0.5	11.0	16.83	4020	12.5	35.0	17.5	8.5	7.33	2.19	40.5	29.68	7090
109	Артемовское	3Б	Р, СШ	23.0	33.1	0.3		29.4	2.5	0.6	11.1	11.14	2660	43.0	30.0	45.0	9.0	8.65	7.54	50.0	28.05	6700
110	Партизанский бассейн	Г	Р, СШ	5.5	34.0	0.4		49.8	3.2	0.8	6.3	19.47	4650	36.0	7.0	40.0	2.0	1.01	5.93	36.0	33.70	8050
111	Партизанский бассейн	Ж	Р	5.5	32.1	0.4		52.7	3.2	0.7	5.4	20.52	4900	34.0	7.0	40.0	1.7	1.12	6.56	31.0	34.33	8200
112	Партизанский бассейн	Т	Р	5.0	28.5	0.5		58.8	2.7	0.7	3.8	22.19	5300	30.0	8.0	35.0	1.5	0.94	5.37	12.0	34.54	8250
113	Партизанский бассейн	Ж	концентрат	6.0	21.6	0.4		61.5	3.7	0.9	5.9	23.86	5700	23.0	8.0	25.0	1.7	1.05	3.79	32.5	34.50	8240
114	Партизанский бассейн	Ж, Т	промпродукт	8.0	37.3	0.4		45.4	2.7	0.7	5.5	17.08	4080	40.5	10.0	43.0	1.5	1.96	9.13	30.0	33.07	7900
115	Партизанский бассейн	Т	концентрат	6.0	19.7	0.4		66.9	3.0	0.8	3.2	24.87	5940	21.0	8.0	25.0	1.5	1.01	3.32	13.0	34.75	8300
116	Ургальское	Г	Р	10.0	31.1	0.4		46.6	3.4	0.8	7.7	18.04	4310	34.5	13.0	37.0	2.5	2.32	7.20	42.0	32.44	7750
117	Райчихинское	2Б	Р, МСШ	37.0	13.9	0.3		34.9	2.1	0.5	11.3	11.72	2800	22.0	40.0	30.0	11.0	13.21	4.96	43.0	25.96	6200
118	Райчихинское	2Б	Р, окислен.	47.0	11.7	0.2		27.9	1.6	0.4	11.2	8.67	2070	22.0	—	30.0	—	22.71	5.65	45.0	24.70	5900
119	Липовецкое	Д	Р, СШ	8.0	36.8	0.4		41.7	3.2	0.5	9.4	16.54	3950	40.0	10.0	42.0	3.5	2.02	9.31	50.0	31.82	7600
120	Реттиховское	1Б	Р, СШ	36.0	25.0	0.3		25.9	2.1	0.5	10.2	9.04	2160	39.0	42.0	42.0	12.5	16.66	11.55	56.0	26.88	6420
121	Павловское	1Б	Р, СШ	41.5	19.6	0.4		25.7	2.3	0.3	10.2	9.13	2180	33.5	45.0	37.0	10.0	19.04	8.99	58.0	27.63	6600
122	Бикинское	1Б	Р	41.0	23.0	0.3		23.8	1.9	0.6	9.4	7.83	1870	39.0	45.0	42.0	10.0	21.92	12.30	53.0	25.96	6200
123	Ерковецкое[1)]	2Б	Р	38.0	12.4	0.3		35.0	2.0	0.5	11.8	11.51	2750	20.0	46.0	25.0	10.5	31.81	4.50	44.0	26.17	6250

Продолжение таблицы I

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Рабочая масса топлива состав, %								Низшая теплота сгорания		Зольность на сухую массу	Предельные значения, %		Влага гигроскопическая	Приведенные значения		Выход летучих	Теплота сгорания по бомбе	
				W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^t	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	A^d %	W_t^r	A^d	W^{ru} %	$W_{пр}^r$ % кг/МДж	$A_{пр}^r$	V^{daf} %	$Q_б^{daf}$ МДж/кг	$Q_б^{daf}$ ккал/кг
124	Лианское[1]	2Б	Р	39.4	13.9	0.3		31.7	2.5	0.6	11.6	10.97	2620	23.0	45.0	28.0	10.0	15.07	5.30	55.0	27.09	6470
125	Раковское[1]	1Б	Р	43.0	14.8	0.3		28.9	2.3	0.4	10.3	9.96	2380	26.0	—	30.0	9.5	18.06	6.23	54.0	27.59	6590
126	Свободное[1]	1Б	Р	52.5	7.8	0.1		26.6	2.3	0.3	10.4	8.79	2100	16.5	—	—	11.0	25.00	3.73	60.5	26.96	6440
127	Джебарики-Хая	Д	Р	11.0	13.4	0.2		58.6	4.1	0.5	12.2	22.32	5330	15.0	13.0	17.0	6.0	2.06	2.51	42.0	31.19	7450
128	Сангарское	Д, Г	Р	10.0	16.2	0.4		58.3	4.3	0.8	10.0	23.40	5590	18.0	12.0	20.0	3.7	1.79	2.90	50.0	33.07	7900
129	Чульмаканское	Ж	Р	7.5	23.1	0.3		58.9	4.1	1.0	5.1	23.19	5540	25.0	—	—	1.5	1.35	4.17	38.0	35.17	8400
130	Нерюнгринское	ЗСС	Р	10.0	19.8	0.2		60.0	3.1	0.6	6.3	22.48	5370	22.0	12.0	28.0	3.5	1.86	3.69	20.0	33.49	8000
131	Нерюнгринское	К	промпродукт	8.0	25.8	0.3		57.6	3.1	0.5	4.7	21.86	5220	28.0	10.0	32.0	1.0	1.53	4.94	21.0	34.46	8230
132	Харанга	Т	Р	12.0	13.2	0.4		67.5	3.4	1.0	2.5	25.62	6120	15.0	15.0	20.0	1.0	1.96	2.15	14.0	35.80	8550
133	Галимовское	А	Р	10.0	20.7	0.6		63.7	1.6	0.8	2.6	22.48	5370	23.0	13.0	25.0	5.0	1.86	3.85	5.5	33.49	8000
134	Аркагалинское (открытые)	Д	Р	17.0	17.4	0.3		48.9	3.3	0.7	12.4	18.00	4300	21.0	22.0	23.0	10.5	3.95	4.26	41.0	29.31	7000
135	Аркагалинское (подземные)	Д	Р, СШ	16.0	14.3	0.3		52.3	3.6	0.8	12.7	19.43	4640	17.0	20.0	20.0	9.0	3.45	3.08	40.0	29.73	7100
136	Кангаласское	3Б-2Б	Р	30.0	10.5	0.4		42.5	3.0	0.6	13.0	15.32	3660	15.0	33.0	20.0	11.0	8.19	2.86	49.0	28.26	6750
137	Анадырское	3Б	Р	22.0	13.3	0.6		47.9	3.7	0.7	11.8	17.92	4280	17.0	25.0	22.0	11.0	5.14	3.10	47.0	29.94	7150
138	Южный Сахалин	3Б	Р, СШ	20.0	25.6	0.5		39.4	3.0	1.1	10.4	15.03	3590	32.0	25.0	38.0	10.0	5.57	7.13	48.0	28.89	6900
139	Южный Сахалин	Д	Р, СШ	11.0	24.0	0.3		49.4	3.8	1.1	10.4	19.55	4670	27.0	15.0	30.0	4.0	2.35	5.13	49.0	31.90	7620
140	Южный Сахалин	Г	Р, СШ	10.5	19.7	0.3		56.5	4.2	1.4	7.4	22.23	5310	22.0	12.5	25.0	3.0	1.97	3.71	42.0	33.70	8050
141	Солнцевское[1]	3Б	Р	18.0	18.9	0.3		45.3	3.6	0.7	13.2	17.08	4080	23.0	24.0	27.0	8.5	4.40	4.61	48.5	29.26	6990
	Эстония																					
142	Эстон-сланец	сланец	0-300 мм	12.0	44.4 +16.7[3]	1.0	0.4	19.9	2.6	0.1	2.9	9.00	2150	50.5 +19.0[3]	—	—	1.2	5.58	28.42	90.0	37.26	8900
	Россия																					
143	Ленинград-сланец	сланец	0-300 мм	11.0	48.2 +17.4[3]	1.0	0.3	17.3	2.2	0.1	2.5	7.66	1830	54.2 +19.6[3]	—	—	—	6.01	35.85	85.9	36.59	8740
144	Кашпирское	сланец	0-300 мм	14.0	58.9 +8.3[3]	1.2	1.2	10.9	1.4	0.3	3.8	4.60	1100	68.5 +9.7[3]	—	—	3.5	12.73	61.09	80.0	29.30	7000
145	Коцебинское и Перелюбское[1]	сланец	пласт 1	35.0	32.5 +8.5[3]	0.6	1.7	15.6	1.9	0.2	4.0	6.30	1500	50.0 +13.0[3]	—	—	—	23.33	27.33	87.8	—	—
	Украина																					
146	Болтышское[1]	сланец	—	32.0	45.7 +1.4[3]	0.6	0.3	13.5	1.9	0.3	4.3	5.74	1370	67.0 +2.0[3]	—	—	5.0	23.36	34.25	81.0	—	—
147	Росторф	фрезторф	—	50.0	6.3	0.1		24.7	2.6	1.1	15.2	8.12	1940	12.5	52.0	23.0	11.0	25.77	3.22	70.0	22.90	5470

[1] Месторождение не разрабатывается, характеристики топлив приведены по анализам геологических проб.

[2] В том числе Скопинское шахтоуправление с $S_{об}^{daf} = 12\%$.

[3] Первое слагаемое - зола, второе - диоксид углерода карбонатов.

СОСТАВ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВКОСТИ И ШЛАКУЕМОСТИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Таблица II

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С			Истинно жидкое состояние шлака		Начало нормального жидкого шлакоудаления		Элементный состав золы на бессульфатную массу, %								Температура начала шлакования	Склоноость к образованию прочных первичных отложений
				t_A	t_B	t_C	t_o °С	$V_A(t_o)$ Па·с	$t_{н.ж}$ °С	$V_A(t_{нж})$ Па·с	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$t_{шл}$ °С	
	Россия, Украина																			
1	Донецкий бассейн	Д	Р	1000 940-1260	1200 1080-1400	1280 1160-1450	1430	25	1480	20	52.7	25.7	1.0	14.1	2.0	0.9	2.6	1.0	1020	есть
2	Донецкий бассейн	Д	отсев	1100 1000-1250	1250 1150-1380	1350 1250-1450	1350	25	1480	20	52.0	24.0	0.8	14.0	2.8	1.6	4.0	0.8	1020	есть
3	Донецкий бассейн	Д	концентрат	990 960-1050	1100 1050-1200	1200 1120-1350	-	-	-	-	48.0	28.2	0.4	15.0	2.1	1:3	4.0	1.0	1010	есть
4	Донецкий бассейн	Г	Р	1050 1000-1200	1200 1100-1300	1280 1200-1400	1350	50	1450	20	50.5	24.2	0.6	16.7	2.5	1.4	3.1	1.0	1010	есть
5	Донецкий бассейн	Г	отсев	1150 1000-1230	1250 1150-1380	1280 1250-1500	1450	30	1460	20	53.1	24.5	0.7	13.3	2.4	1.8	3.4	0.8	1020	есть
6	Донецкий бассейн	Г	концентрат	1000	1220	1280	-	-	-	-	43.0	24.0	0.5	23.5	3.5	1.7	2.8	1.0	1010	есть
7	Донецкий бассейн	Г	промпродукт	1200 1100-1400	1340 1150-1450	1380 1200-1480	1480	30	1500	20	52.3	25.5	0.6	12.4	3.2	1.3	3.2	1.5	1020	есть
8	Донецкий бассейн	Г	шлам	1180	1350	1400	-	-	-	-	50.1	26.3	0.7	13.5	3.6	1.4	3.5	0.9	1020	есть
9	Донецкий бассейн	Ж	Р	1000	1200	1270	-	-	-	-	53.0	21.7	0.7	16.8	3.2	1.6	2.0	1.0	1000	есть
10	Донецкий бассейн	ОС	Р	1100	1250	1300	—	—	—	—	48.7	21.5	0.8	19.2	4.0	1.4	3.5	0.9	980	есть
11	Донецкий бассейн	Ж, ОС	промпродукт	1050	1200	1250	—	—	—	—	49.8	25.3	0.8	16.2	2.5	1.5	3.2	0.7	1000	есть
12	Донецкий бассейн	Ж, ОС	шлам	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	Донецкий бассейн	Т	Р	1120	1200	1250	1400	15	1400	15	49.9	22.3	0.7	17.5	4.0	1.6	2.8	1.2	1000	нет
14	Донецкий бассейн	А	штыб, СШ	1110	1210	1240	1350	25	1550	20	51.4	22.4	0.7	15.3	3.8	1.6	3.3	1.5	1000	нет
15	Донецкий бассейн	А	шлам	1130	1240	1260	—	—	—	—	52.0	24.8	0.7	11.6	4.2	1.7	3.5	1.5	1000	нет
	Украина																			
	Новые месторождения и участки Донецкого бассейна																			
16	Новомосковское	3Б, Д	—	1080	1120	1130	—	—	1260	—	28.0	20.0	0.5	22.0	15.0	3.0	1.5	10.0	950	есть
17	Новомосковское	Д, Г	—	1060	1120	1135	—	—	1260	—	28.0	20.0	0.5	22.0	15.0	3.0	1.5	10.0	950	есть
18	Привольнянское	Д	—	1100	1200	1280	—	—	1450	—	50.0	22.0	0.7	18.0	3.0	1.3	3.0	2.0	990	есть
19	Северо-Александровские 1-2	Д, Г	—	1150	1210	1250	—	—	1400 1170-1470	—	41.0	20.5	0.8	19.0	11.0	2.8	1.8	3.1	960	есть
20	Успеновские 1-4	Д, Г	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	Новосветловское	Г	—	1150	1210	1250	—	—	1350 1300-1370	—	50.0	22.0	0.8	18.0	3.0	1.6	3.1	1.5	990	есть
22	Светлановский	Г	—	1100	1250	1300	—	—	1500	20	56.0	26.0	0.7	10.0	2.3	2.0	2.0	1.0	1020	есть
23	Чапаевский рудник	Г	—	1180	1240	1300	—	—	1450	—	46.0	23.0	0.9	17.5	8.0	1.2	2.3	1.1	980	есть
24	Углегорский Восточный	Т, А	—	1060	1250	1300	—	—	1400	—	49.0	23.0	1.0	18.0	3.0	1.0	5.0		1000	есть
25	Ольховатский	А	—	1040	1220	1300	—	—	1500	—	50.0	25.0	0.8	15.2	4.0	1.0	5.0		1000	нет
26	Володарский рудник	А	—	1100	1170	1230	—	—	1400	—	50.0	23.5	—	16.0	5.0	2.0	3.5		990	нет
27	Миусский 1-2	А	—	1040	1220	1300	—	—	1500	—	50.0	25.0	0.8	15.2	3.0	1.0	5.0		1000	нет

Продолжение таблицы II

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С			Истинно жидкое состояние шлака		Начало нормального жидкого шлакоудаления		Элементный состав золы на бессульфатную массу, %								Температура начала шлакования	Склонность к образованию прочных первичных отложений
				t_A	t_B	t_C	t_o °С	$V_A(t_o)$ Па·с	$t_{н.ж}$ °С	$V_A(t_{нж})$ Па·с	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$t_{шл}$ °С	
	Россия																			
28	Кузнецкий бассейн	Д	Р, СШ	1160	1310	1440	1400	100	1600	20	60.0	20.6	0.9	6.8	4.0	2.7	3.0	2.0	1000	нет
29	Кузнецкий бассейн	Г	Р, МСШ, СШ	1170	1300	1390	1400	25	1500	20	55.9	21.8	0.9	7.9	6.1	2.9	2.4	2.1	990	нет
30	Кузнецкий бассейн	Г	промпродукт	1170	1270	1340	—	—	1520	20	58.7	20.2	0.9	6.3	5.8	2.7	3.8	1.6	1000	нет
31	Кузнецкий бассейн	Г	шлам	1110	1180	1220	1450	9	1450	9	41.6	18.9	1.2	13.9	15.3	5.7	2.2	1.2	960	есть
32	Кузнецкий бассейн	1СС	Р, СШ	1190	1370	1440	—	—	1550	0	56.1	23.7	1.1	10.2	4.1	1.9	2.1	0.8	1020	нет
33	Кузнецкий бассейн	2СС	Р, СШ	1190	1370	1460	—	—	1700	20	59.8	22.5	0.9	8.6	2.8	1.7	2.7	1.0	1020	нет
34	Кузнецкий бассейн	Т	Р, СШ	1220	1350	1410	—	—	—	—	56.0	25.7	1.1	7.4	4.8	2.1	2.1	0.8	1020	нет
35	Кузнецкий бассейн	Ж	промпродукт	1150	1300	1380	—	—	—	—	63.8	19.3	1.0	5.0	3.9	2.0	3.2	1.8	1020	нет
36	Кузнецкий бассейн	К	промпродукт	1170	1340	1420	—	—	1580	20	58.4	24.5	0.8	7.4	3.6	2.1	2.0	1.2	1020	нет
37	Кузнецкий бассейн	А	Р	1160	1370	1460	—	—	—	—	63.1	20.7	0.9	6.1	4.3	1.3	2.1	1.5	1020	нет
38	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Д	РОК I	1140	1290	1380	—	—	1610	20	58.7	20.3	0.9	6.9	7.8	2.2	1.7	1.5	990	нет
39	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК I	1180	1370	1440	1560	40	1600	20	58.9	22.2	1.0	7.5	5.1	2.2	2.1	1.0	1000	нет
40	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК II	1150	1270	1330	1400	6	1400	6	54.0	21.8	0.9	6.7	11.9	2.4	1.5	0.8	980	есть
41	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК I	1190	1340	1410	—	—	1570	20	49.7	24.4	1.0	16.1	5.2	1.4	1.8	0.4	1000	нет
42	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК II	1250	1330	1400	—	—	—	—	44.1	21.7	0.9	7.2	20.3	3.7	1.2	0.9	960	есть
43	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК I	1230	1410	1460	—	—	—	—	56.0	26.6	1.1	7.2	4.9	1.3	1.8	1.1	1010	нет
44	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК II	1210	1300	1370	—	—	—	—	48.8	25.5	1.2	5.7	14.4	2.0	1.6	1.0	970	есть
45	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК I	1230	1410	>1500	—	—	1600	20	57.2	27.3	1.0	5.9	4.8	1.7	1.8	0.4	1020	нет
46	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК II	1170	1310	1370	—	—	—	—	55.2	23.5	0.8	4.6	12.0	1.6	1.9	0.4	990	есть
47	Талдинский разрез	Г	РОК II	1160	1350	1410	—	—	—	—	56.7	22.9	1.2	5.2	9.7	2.2	1.7	0.4	990	нет
	Казахстан																			
48	Карагандинский бассейн	К	Р, отсев	1300	1480	>1500	1700	9	1700	9	60.1	27.6	0.7	4.8	3.1	1.4	1.4	0.9	1070	нет
49	Карагандинский бассейн	К	концентрат	1180	1400	1430	1410	35	1500	20	51.5	30.0	0.9	7.5	7.2	1.0	1.1	0.8	1010	нет
50	Карагандинский бассейн	К	промпродукт	1230	1490	>1500	—	—	—	—	59.1	27.0	0.7	5.5	4.0	0.9	2.0	0.8	1040	нет
51	Карагандинский бассейн	К	шлам	1300	1480	>1500	—	—	—	—	59.1	26.0	1.0	6.0	3.5	1.0	2.0	1.4	1040	нет
52	Куучекинское	2К	Р	1270	>1500	>1500	—	—	—	—	63.8	24.8	0.7	5.9	1.4	0.8	0.6	2.0	1090	нет
53	Борлинское	2К	Р	1270	>1500	>1500	—	—	—	—	65.9	30.0	1.2	1.4	0.5	0.5	0.3	0.2	1250	нет
	Экибастузский бассейн																			
54	1-я гр. зольности	СС	Р	1270	>1500	>1500	—	—	1650	20	62.7	28.3	1.1	5.1	1.1	0.8	0.6	0.3	1180	есть
55	2-я гр. зольности	СС	Р	1180	>1500	>1500	—	—	1580	20	59.4	29.8	1.3	6.1	1.7	0.7	0.7	0.3	1180	есть
	Тургайский бассейн																			
56	Кушмурунское	2Б	Р	1180	1280	1360	1590	15	1590	15	57.8	23.6	1.6	5.3	5.9	2.2	0.6	3.0	1000	есть
57	Приозерное	2Б	Р	1200	1290	1370	1480	—	1480	10	52.9	26.0	2.7	5.4	7.0	2.9	0.5	2.6	990	есть
58	Орловское	2Б	Р	1200	1320	1380	1560	20	1560	20	57.1	24.1	0.8	10.0	2.2	2.1	2.6	1.1	1020	есть
	Майкюбинский бассейн																			
59	Шоптыкольское	3Б	Р	1200	1400	1490	—	—	1580	20	57.9	25.3	1.0	5.4	4.0	2.3	2.2	1.9	1020	нет
60	Сарыкольское[1)]	3Б	—	1120	1380	1480	—	—	1620	20	59.3	22.7	1.1	6.0	3.3	3.1	3.3	1.2	1010	нет

Продолжение таблицы II

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С			Истинно жидкое состояние шлака		Начало нормального жидкого шлакоудаления		Элементный состав золы на бессульфатную массу, %								Температура начала шлакования	Склонность к образованию прочных первичных отложений
				t_A	t_B	t_C	t_0 °С	$V_A(t_0)$ Па·с	$t_{н.ж}$ °С	$V_A(t_{н.ж})$ Па·с	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$t_{шл}$ °С	
	Россия																			
61	Подмосковный б-н в целом[3]	2Б	Р, ОМСШ	1350 1000-1600	1500 1100-1600	1500 1150-1600	1700	20	1700	20	48.2	35.6	0.8	9.6	4.1	0.7	0.7	0.3	1090	есть
62	в т.ч., высокозольный уголь Печорский бассейн	2Б	Р, ОМСШ	1350 1050-1500	1500 1100-1500	>1500	1750	10	1750	10	47.5	38.5	0.5	8.5	3.5	0.5	0.7	0.3	1090	есть
63	Интинское	Д	Р, отсев	1050	1220	1300	1350	90	1450	20	54.6	18.6	0.8	14.1	6.9	2.3	1.3	1.4	980	есть
64	Воркутинское	Ж	Р, отсев	1050	1240	1360	—	—	—	—	62.6	19.4	1.0	8.6	3.0	2.3	2.1	1.0	1020	есть
	Украина																			
65	Днепровский бассейн Львовско-Волынский бассейн	1Б	Р	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
66	Волынское	Г	Р, отсев	1100	1200	1230	1350	5	1350	—	41.7	23.0	0.8	22.0	9.0	1.5	1.5	0.5	980	есть
67	Межреченское	ГЖ	Р	1130	1200	1230	1270	15	1270	15	44.0	23.0	0.9	19.0	8.0	2.0	2.5	0.6	980	есть
	Россия																			
68	Кизеловский бассейн	Ж	Р	1160	1330	1380	—	—	—	—	54.9	22.4	0.9	14.8	3.7	1.3	1.4	0.6	1040	есть
69	Кизеловский бассейн	Г	Р, МСШ, промпродукт	1280	1400	1460	—	—	—	—	49.0	28.8	1.6	16.7	0.6	1.0	2.1	0.2	1100	есть
70	Кизеловский бассейн	Г	промпродукт, шлам	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71	Челябинский бассейн	3Б	Р, отсев	1180	1370	1450	—	—	1580	20	56.0	25.0	0.9	8.6	3.0	2.8	2.5	1.2	990	есть
72	Волчанское и Богословское	3Б	Р	1180	1430	1500	1680	10	1680	10	46.0	33.9	1.3	8.4	6.4	3.0	0.7	0.3	1000	нет
73	Бабаевское	1Б	Р	1160	1270	1340	1540	20	1540	20	54.1	24.0	2.1	2.6	13.9	2.0	0.7	0.6	990	есть
74	Тульганское	1Б	Р	1180	1330	1410	—	—	—	—	55.9	23.9	1.2	5.3	6.9	5.1	1.2	0.5	990	нет
	Грузия																			
75	Ткибульское	Д	МСШ	1460	1470	1480	1650	4	1650	4	53.4	34.3	1.1	4.8	2.1	0.6	3.7		1070	нет
76	Ткибульское	Г	Р, шлам, промпродукт	1450	1470	1480	—	—	—	—	52.5	31.5	1.4	8.0	5.0	0.8	0.2	0.6	1040	нет
77	Ткварчельское	Ж	промпродукт	1450	>1500	>1500	—	—	—	—	56.0	31.0	1.2	5.0	4.1	0.5	0.8	1.4	1070	нет
	Узбекистан																			
78	Ангренское	2Б	ОМСШ	1160	1300	1320	1350	3	1350	3	32.5	21.5	—	14.9	24.3	3.6	3.2		950	есть
79	Шаргуньское	СС	СШ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Киргизия																			
80	Кок-Янгак	Д	СШ	1100	1440	1460	1500	60	1570	20	57.8	22.4	0.9	11.3	5.2	0.9	1.5		1010	есть
81	Таш-Кумыр	Д	СШ	1275	1335	1360	1500	60	1570	20	62.1	24.8	0.9	7.2	1.9	1.4	1.7		1080	нет
82	Сулюктинское	3Б	СШ	1120	1230	1250	1300	2	1300	2	41.0	19.2	1.2	14.7	16.5	3.7	3.7		950	есть
83	Кызыл-Кия	3Б	СШ	1100	1250	1260	1350	10	1350	10	30.7	20.5	0.4	20.7	20.2	4.2	2.5	0.8	960	есть
84	Кара-Киче[1]	3Б		1150	1300	1315	—	—	—	—	35.7	20.7	0.6	18.0	18.3	5.4	0.7	0.6	950	есть

Продолжение таблицы II

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С			Истинно жидкое состояние шлака		Начало нормального жидкого шлакоудаления		Элементный состав золы на бессульфатную массу, %								Температура начала шлакования	Склонность к образованию прочных первичных отложений
				t_A	t_B	t_C	t_o °С	$V_A(t_o)$ Па·с	$t_{н.ж}$ °С	$V_A(t_{нж})$ Па·с	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$t_{шл}$ °С	
	Таджикистан																			
85	Шураб 1/2	3Б	Р	1150	1230	1290	1300	10	1480	20	56.5	19.0	0.9	9.5	7.5	3.6	2.1	0.9	980	есть
86	Шураб 8	3Б	СШ	1130	1180	1260	1350	10	1350	10	55.5	11.7	1.0	11.8	13.2	4.4	1.3	1.1	960	есть
	Россия																			
	Канско-Ачинский бассейн																			
87	Ирша-Бородинское	2Б	Р	1180	1210	1230	1300	8	1300	8	46.8	12.9	0.6	7.9	25.8	5.0	0.5	0.5	950	есть
88	Назаровское	2Б	Р	1200	1220	1240	1300	3	1300	3	30.5	10.0	0.6	19.0	35.0	4.0	0.5	0.4	950	есть
89	Березовское	2Б	Р	1270	1290	1310	1400	2	1400	2	30.0	11.0	—	9.0	42.0	6.0	1.2	0.8	950	есть
90	Боготольское[1)]	1Б	—	1150	1170	1190	1300	4.5	1300	4.5	37.0	13.0	—	15.0	28.0	5.0	1.0	1.0	950	есть
91	Абанское[1)]	2Б	—	1140	1160	1180	1300	9	1300	9	46.0	11.5	—	13.0	25.0	3.0	1.0	0.5	950	есть
92	Барандатское[1)]	2Б	—	1300	1320	1340	1400	1.5	1400	1.5	27.0	11.0	—	9.0	42.7	9.0	0.6	0.7	950	есть
93	Итатское[1)]	1Б	—	1200	1220	1240	1340	3.5	1340	2	35.3	13.0	—	14.0	33.0	3.5	0.6	0.6	950	есть
94	Большесырское[1)]	3Б	—	1120	1180	1200	1300	6	1300	6	46.1	15.1	1.0	9.1	24.1	3.1	0.9	0.6	950	есть
95	Черногорское	Д	Р, МСШ, СШ	1180-1220	1210-1350	1420-1500	1450	10	1450	10	47.0	28.5	1.5	12.0	6.0	3.0	2.0		980	нет
96	Черемховское и Забитуйское	Д	Р, МСШ	1170	1320	1430	—	—	1600	20	62.5	22.8	0.5	5.7	4.3	2.8	1.2	0.2	1020	нет
97	Азейское	3Б	Р	1200	1340	1420	—	—	1550	20	52.6	28.7	0.4	7.3	8.0	2.2	0.6	0.2	1000	нет
98	Мугунское[1)]	3Б	—	1350	1480	>1500	—	—	1600	20	50.6	34.5	1.0	4.1	7.2	1.7	0.8	0.1	1030	есть
99	Каахемское	Г	Р	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	Гусиноозерское (Холбольдж)	3Б	Р	1150	1260	1330	1420	35	1460	20	51.1	23.5	1.3	12.2	5.7	2.8	2.0	1.2	980	нет
101	Никольское[1)]	Д, ДГ	Р	1240	1370	1440	1350	40	1550	20	59.2	22.7	1.3	7.7	3.8	2.5	1.9	0.9	1010	нет
102	Олонь-Шибирское	Д, ДГ	Р	1210	1350	1430	1520	30	1550	20	59.2	23.5	1.1	7.7	4.2	1.5	2.0	0.8	1020	нет
103	Букачачинское	Г	Р	1170	1300	1330	1200	30	1450	20	52.0	26.0	—	12.0	7.0	1.0	1.0	1.0	1000	нет
104	Татауровское	2Б	Р	1140	1160	1180	—	—	—	—	52.0	18.0	0.8	11.0	14.3	1.7	1.5	0.7	960	есть
105	Харанорское	1Б	Р	1170	1270	1360	1450	15	1450	15	58.0	23.3	0.7	5.5	7.4	2.7	1.6	0.8	990	нет
106	Тарбагатайское	3Б	Р	1100	1300	1350	—	—	—	—	66.0	21.0	0.6	8.6	2.4	0.2	1.0	0.2	1100	есть
107	Арбагарское	3Б	Р	1120	1300	1330	1420	35	1480	20	55.9	20.1	0.6	9.6	9.1	1.7	2.6	0.4	980	есть
108	Уртуйское[1)]	3Б	Р	1140	1330	1400	—	—	1560	20	58.0	23.4	1.1	5.4	8.5	1.5	1.7	0.4	1000	нет
109	Артемовское	3Б	Р, СШ	1290	>1500	>1500	—	—	1600	20	60.6	25.8	1.0	4.5	1.7	1.7	3.4	1.3	1040	нет
110	Партизанский бассейн	Г	Р, СШ	1220	>1500	>1500	1350	10	1630	20	63.5	23.0	0.8	4.0	4.7	1.5	2.0	0.5	1050	нет
111	Партизанский бассейн	Ж	Р	1150	1400	1470	—	—	1580	20	62.0	22.0	0.6	6.5	4.5	1.5	2.4	0.5	1030	нет
112	Партизанский бассейн	Т	Р	1160	1310	1370	—	—	—	—	59.6	23.5	0.9	5.8	3.3	1.3	4.6	1.0	1020	нет
113	Партизанский бассейн	Ж	концентрат	1150	1400	1420	—	—	—	—	62.2	23.4	0.9	5.4	3.8	0.5	3.1	0.7	1040	нет
114	Партизанский бассейн	Ж, Т	промпродукт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
115	Партизанский бассейн	Т	концентрат	1110	1260	1320	—	—	—	—	58.0	21.2	1.0	8.3	5.6	1.5	3.4	1.0	1000	нет
116	Ургальское	Г	Р	1200	1500	>1500	1580	40	1640	20	64.4	25.1	1.2	4.0	1.5	1.0	1.6	1.2	1100	нет
117	Райчихинское	2Б	Р, МСШ	1150	1240	1340	1300	40	1400	20	55.6	25.5	0.8	7.8	7.1	1.4	1.2	0.6	1010	нет
118	Райчихинское	2Б	Р, окислен.	1270	1430	1500	—	—	—	—	50.1	32.1	0.8	5.6	9.1	1.4	0.6	0.3	1010	есть
119	Липовецкое	Д	Р, СШ	1450	>1500	>1500	—	—	—	—	65.9	29.6	1.0	0.8	0.5	0.9	0.8	0.5	1240	нет

Продолжение таблицы II

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Температура плавкости золы, °С			Истинно жидкое состояние шлака		Начало нормального жидкого шлакоудаления		Элементный состав золы на бессульфатную массу, %								Температура начала шлакования	Склонность к образованию прочных первичных отложений
				t_A	t_B	t_C	t_o °С	$V_A(t_o)$ Па·с	$t_{н.ж}$ °С	$V_A(t_{нж})$ Па·с	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$t_{шл}$ °С	
120	Реттиховское	1Б	Р, СШ	1170	1420	1500	—	—	—	–	63.8	22.9	0.6	4.1	3.6	1.6	2.0	1.4	1040	нет
121	Павловское	1Б	Р, СШ	1180	1450	>1500	—	—	1610	20	59.0	27.0	1.0	4.9	4.9	1.5	1.4	0.3	1050	нет
122	Бикинское	1Б	Р	1240	1450	>1500	—	—	—	—	58.1	26.8	0.7	5.3	3.6	2.3	1.7	1.5	1060	нет
123	Ерковецкое[1)]	2Б	Р	1140	1230	1310	—	—	1410	20	49.1	24.9	0.6	12.1	9.9	1.5	1.3	0.6	980	есть
124	Лиаиское[1)]	2Б	Р	1150	1300	1360	1560	10	1560	10	51.0	26.1	1.0	6.1	7.8	3.6	2.9	1.5	980	нет
125	Раковское[1)]	1Б	Р	1220	1310	1390	—	—	—	—	56.9	23.5	0.5	6.1	9.8	1.4	1.3	0.5	990	есть
126	Свободное[1)]	1Б	Р	1140	1220	1260	1350	30	1410	20	52.0	21.2	1.0	11.8	10.2	2.1	1.0	0.7	980	нет
127	Джебарики-Хая	Д	Р	1130	1190	1220	1310	8	1310	8	43.6	20.3	0.8	9.8	21.5	3.0	0.7	0.3	950	есть
128	Сангарское	Д, Г	Р	1130	1170	1200	1390	7	1390	7	44.8	12.4	0.9	10.1	25.7	3.8	1.2	1.1	950	есть
129	Чульмаканское	Ж	Р	1110	1210	1310	—	—	—	—	56.0	25.0	0.5	8.0	4.0	1.5	4.5	0.5	1010	нет
130	Нерюнгринское	ЗСС	Р	1240	1340	1400	1600	15	1600	15	53.8	27.7	1.3	8.1	5.0	2.5	0.8	0.8	1010	нет
131	Нерюнгринское	К	промпродукт	1250	1320	1430	—	—	—	—	53.9	26.9	0.8	7.5	6.5	2.6	1.8		1010	нет
132	Харанга	Т	Р	1150	1220	1260	—	—	—	—	51.8	15.5	0.9	18.0	8.7	3.0	1.0	1.1	970	нет
133	Галимовское	А	Р	1200	>1500	>1500	—	—	—	—	53.0	33.0	—	7.4	1.5	1.5	2.0	1.6	1050	нет
134	Аркагалинское (открытые)	Д	Р	1120	1220	1360	1400	30	1650	20	59.3	19.2	0.4	7.2	5.4	2.5	0.7	5.3	990	нет
135	Аркагалинское (подземные)	Д	Р, СШ	1060	1180	1260	—	—	1500	20	56.0	23.0	0.3	12.6	5.6	1.1	1.8	0.6	1000	нет
136	Кангаласское	3Б-2Б	Р	1190	1220	1290	1450	15	1450	15	54.9	17.7	1.3	4.7	16.3	2.9	0.3	1.9	970	есть
137	Анадырское	3Б	Р	1250	1460	>1500	—	—	—	—	53.7	30.3	1.8	4.9	5.1	1.3	0.7	2.2	1030	нет
138	Южный Сахалин	3Б	Р, СШ	1180	1340	1420	—	—	—	—	57.0	26.0	1.0	6.0	5.0	2.0	1.5	1.5	1020	нет
139	Южный Сахалин	Д	Р, СШ	1140	1300	1360	—	—	—	—	57.9	25.0	1.0	4.6	5.8	2.5	2.2	1.0	1010	нет
140	Южный Сахалин	Г	Р, СШ	1160	1280	1350	—	—	—	—	52.8	26.8	0.8	8.5	6.4	2.2	1.6	0.9	1000	нет
141	Солнцевское[1)]	3Б	Р	1240	1440	>1500	—	—	—	—	52.5	31.8	1.3	7.2	4.2	1.7	0.8	0.5	1040	нет
	Эстония																			
142	Эстон-сланец	сланец	0-300 мм	1120	1400	1430	—	—	—	—	28.6	7.3	0.5	5.6	50.3	4.7	2.3	0.7	950	есть
	Россия																			
143	Ленинград-сланец	сланец	0-300 мм	1275	1360	1375	—	—	—	—	28.9	8.6	0.5	5.2	50.4	2.5	3.4	0.5	950	есть
144	Кашпирское	сланец	0-300 мм	1110	1140	1170	—	—	—	—	44.0	11.0	0.5	9.5	28.5	1.8	2.5	2.2	950	есть
145	Коцебинское и Перелюбское[1)]	сланец	пласт 1	1100	1300	1350	—	—	—	—	20.0	7.5	0.4	11.0	55.5	2.5	3.1		950	есть
	Украина																			
146	Болтышское[1)]	сланец	—	1090-1480	1110-1490	1125-1500	—	—	1650	20	61.5	20.0	0.5	7.4	4.6	1.2	3.0	1.3	1010	есть
147	Росторф	фрезторф	—	1140	1280	1350	1350	5	1350	5	35.5	8.8	0.4	16.3	32.0	3.7	1.4	1.6	950	есть

[1] Месторождение не разрабатывается, характеристики топлив приведены по анализам геологических проб.

[2] В том числе Скопинское шахтоуправление с $S_{об}^{daf}$ = 12 %.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Таблица III

№ п/п	Марка топлива	Класс	Рабочая масса топлива, состав, %								Низшая теплота сгорания				Предельные значения, %		
											средняя		минимальная				
			W_t^r	A^r	S_p^r	S_o^r	C^r	H^r	N^r	O^r	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	Q_i^r МДж/кг	Q_i^r ккал/кг	W_t^r	A^r	S^r
1	Мазут 40 и 100	Низкосернистый	0.15	0.03	0.39		87.33	11.90		0.20[1]	41.68	9955	40.82	9749	1.0	0.14	0.5
2	Мазут 40 и 100	Малосернистый	0.20	0.03	0.85		86.58	12.04		0.30[1]	40.53	9680	39.21	9365	1.0	0.14	1.0
3	Мазут 40 и 100	Сернистый	0.49	0.05	1.80		85.71	11.45		0.50[1]	39.57	9451	38.29	9145	1.0	0.14	2.0
4	Мазут 40 и 100	Высокосернистый	1.00	0.06	2.55		85.04	10.64		0.71[1]	39.06	9329	37.57	8973	1.0	0.14	3.5

[1] Для расчетов принимать как кислород

СОСТАВ ЗОЛЫ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Таблица IIIа

№ п/п	Марка топлива	Класс	Элементный состав золы на бессульфатную массу, %						
			V_2O_5	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
1	Мазут 40 и 100	Низкосернистый	5.5	18.8	15.31	27.05	8.75	24.10	0.5
2	Мазут 40 и 100	Малосернистый	28.9	17.9	12.20	15.50	7.60	16.60	1.3
3	Мазут 40 и 100	Сернистый	46.9	16.3	8.63	9.00	7.20	10.77	1.2
4	Мазут 40 и 100	Высокосернистый	48.8	10.0	9.20	10.10	5.60	14.90	1.4

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица IV

№ п/п	Газопровод	Состав газа по объему, %												Низшая теплота сгорания		Плотность при 0 °С и 101.3 кПа
		CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}[1]	CO	CO_2	N_2	O_2	H_2S	H_2	Q_i^d МДж/м³	Q_i^d ккал/м³	ρ кг/м³
	Природные газы															
1	Уренгой-Надым-Пунга-Ухта	98.72	0.12	0.01	<0.01	—	—	—	0.14	1.00	—	—	—	35.50	8479	0.724
2	Уренгой-Ужгород	98.90	0.12	0.01	0.01	—	—	—	<0.06	0.90	—	—	—	35.59	8500	0.724
3	Уренгой-Новопсков	98.90	0.13	0.01	<0.01	—	—	—	0.08	0.87	—	—	—	35.59	8500	0.723
4	Уренгой-Сургут-Челябинск	98.24	0.29	0.20	0.09	0.04	—	—	0.14	1.00	—	—	—	35.80	8550	0.729
5	Надым-Пунга-Н.Тура-Свердловск-Челябинск	98.67	0.16	0.08	0.01	—	—	—	0.08	1.00	—	—	—	35.59	8500	0.725
6	Н.Новгород-Иваново-Череповец	98.99	0.25	0.04	0.02	—	—	—	0.10	0.60	—	—	—	35.75	8539	0.725
7	Бухара-Урал	94.24	3.00	0.89	0.39	0.17	0.13	—	0.28	0.90	—	—	—	37.56	8971	0.771
8	Средняя Азия-Центр	94.08	2.80	0.73	0.30	0.07	0.02	—	1.00	1.00	—	—	—	36.76	8780	0.771
9	Саратов-Москва	90.29	2.80	1.10	0.75	0.34	0.20	—	0.32	4.20	—	—	—	37.01	8840	0.807
10	Мострансгаз (кольцо)	96.57	1.40	0.40	0.18	0.07	0.03	—	0.15	1.20	—	—	—	36.30	8670	0.747
11	Оренбург-Александров Гай	86.43	3.90	1.72	0.87	0.30	0.07	—	0.01	6.70	—	—	—	36.80	8790	0.828
	Попутные газы															
12	Каменный Лог-Пермь	38.70	22.60	10.70	2.70	0.70[2]	—	—	—	23.80	—	0.80	—	42.37	10120	1.196
13	Ярино-Пермь	38.00	25.10	12.50	3.30	1.30[2]	—	—	—	18.70	—	1.10	—	46.89	11199	1.196
14	Кулешовка-Самара	58.00	17.20	7.40	2.00	0.50[2]	—	—	0.80	13.60	—	0.50	—	41.74	9969	1.052
15	Безенчук-Чапаевск	42.70	19.60	12.60	5.10	1.30[2]	—	—	1.00	16.90	—	0.80	—	46.98	11220	1.196
16	Барса-Гельмес-Вышка-Небит-Даг	93.90	3.40	1.30	0.70	0.20[2]	—	—	0.40	0.10	—	—	—	38.10	9100	0.778
17	На входе в г.Краснодар, Крымск, Новороссийск	91.20	3.90	2.00	0.90	0.20[2]	—	—	1.80	—	—	—	—	38.27	9140	0.810
18	Вознесенская-Грозный, Карабулак-Грозный	76.70	13.20	5.40	2.50	2.20[2]	—	—	—	—	—	—	—	47.02	11230	0.971
19	Тэбук-Сосновка	48.20	18.20	11.90	3.30	1.00[2]	—	—	0.90	16.50	—	—	—	45.13	10779	1.164
20	Туймазы-Уфа	50.00	22.00	9.80	1.20	0.40[2]	—	—	—	16.60	—	—	—	43.04	10280	1.095
21	Шкапово-Туймазы	44.10	22.00	5.20	1.40	0.30[2]	—	—	—	27.00	—	—	—	36.63	8749	1.095
22	Казань-Бугульма-Лениногорск-Альметьевск	53.60	22.80	6.10	0.90	0.20[2]	—	—	0.20	15.80	—	—	—	40.61	9700	1.046
	Промышленные газы															
23	Газ доменных печей	0.30	—	—	—	—	—	28.00	10.50	58.50	—	—	2.70	3.94	941	1.293
24	Газ коксовых печей	25.00	2.00[2]		—	—	—	7.00	3.00	4.00	1.00	—	58.00	18.00	4300	0.468

[1] сумма высших гомологов (гексан C_6H_{14} и др.)
[2] ... и более тяжелые углеводороды

СРЕДНЯЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВОЗДУХА И ГАЗОВ

Таблица V

t, °C	c_{CO_2}	c_{N_2}	c_{O_2}	c_{H_2O}	$c_{с.в}$	$c_в$	t, °C	c_{CO_2}	c_{N_2}	c_{O_2}	c_{H_2O}	$c_{с.в.}$	$c_в$
	кДж/(м³·К)							кДж/(м³·К)					
0	1.6010	1.2955	1.3069	1.4954	1.2981	1.3198	1200	2.2655	1.4154	1.5017	1.7782	1.4338	1.4623
100	1.7016	1.2968	1.3186	1.5063	1.3014	1.3253	1300	2.2915	1.4263	1.5117	1.8042	1.4443	1.4736
200	1.7887	1.3006	1.3362	1.5235	1.3081	1.3328	1400	2.3154	1.4359	1.5214	1.8293	1.4539	1.4841
300	1.8641	1.3077	1.3571	1.5436	1.3182	1.3433	1500	2.3372	1.4451	1.5306	1.8541	1.4631	1.4937
400	1.9312	1.3173	1.3785	1.5666	1.3299	1.3555	1600	2.3573	1.4539	1.5390	1.8775	1.4719	1.5029
500	1.9902	1.3286	1.3990	1.5909	1.3437	1.3693	1700	2.3761	1.4623	1.5474	1.9010	1.4799	1.5113
600	2.0426	1.3412	1.4179	1.6161	1.3576	1.3840	1800	2.3933	1.4698	1.5553	1.9228	1.4879	1.5189
700	2.0900	1.3546	1.4355	1.6425	1.3718	1.3986	1900	2.4092	1.4770	1.5629	1.9437	1.4950	1.5268
800	2.1327	1.3680	1.4510	1.6693	1.3852	1.4124	2000	2.4239	1.4837	1.5704	1.9643	1.5021	1.5340
900	2.1708	1.3806	1.4657	1.6969	1.3986	1.4259	2100	2.4377	1.4904	1.5771	1.9840	1.5084	1.5411
1000	2.2052	1.3928	1.4786	1.7242	1.4108	1.4384	2200	2.4503	1.4962	1.5842	2.0024	1.5147	1.5474
1100	2.2366	1.4045	1.4904	1.7514	1.4225	1.4594	2300	2.4620	1.5021	1.5909	2.0204	1.5205	1.5536

Примечание: приведены значения теплоемкости для диапазона температур от 0 до t °С.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Таблица VI

t, °C	Воздух			Дымовые газы среднего состава			t, °C	Воздух			Дымовые газы среднего состава		
	$\nu \cdot 10^6$ м²/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м · К)	Pr -	$\nu \cdot 10^6$ м²/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м · К)	Pr -		$\nu \cdot 10^6$ м²/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м · К)	Pr -	$\nu \cdot 10^6$ м²/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м · К)	Pr -
0	13.6	2.42	0.70	11.9	2.27	0.74	1200	226.0	8.85	0.73	211.0	12.53	0.56
100	23.5	3.18	0.69	20.8	3.12	0.70	1300	247.0	9.24	0.73	234.0	13.46	0.55
200	35.3	3.89	0.69	31.6	4.00	0.67	1400	277.0	9.63	0.73	258.0	14.38	0.54
300	48.9	4.47	0.69	43.9	4.82	0.65	1500	300.0	10.00	0.73	282.0	15.31	0.53
400	63.8	5.03	0.70	57.8	5.68	0.64	1600	331.0	10.36	0.74	307.0	16.24	0.52
500	73.2	5.60	0.70	73.0	6.54	0.62	1700	355.0	10.72	0.74	333.0	17.28	0.51
600	98.0	6.14	0.71	89.4	7.40	0.61	1800	390.0	11.08	0.74	361.0	18.10	0.50
700	116.0	6.65	0.71	107.0	8.25	0.60	1900	415.0	11.43	0.74	389.0	18.91	0.49
800	136.0	7.12	0.72	126.0	9.13	0.59	2000	445.0	11.83	0.74	419.0	19.84	0.49
900	157.0	7.59	0.72	146.0	9.99	0.58	2100	478.0	12.06	0.75	450.0	20.65	0.48
1000	179.0	8.03	0.72	167.0	10.87	0.58	2200	511.0	12.41	0.75	482.0	21.58	0.47
1100	202.0	8.44	0.72	188.0	11.72	0.57							

Примечание: физические характеристики дымовых газов должны быть приведены к заданному составу газов (гл. 3).

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

$\mu \cdot 10^6$, Па·с

Таблица VII

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
0	1792	1788	1783	1779	1774	1770	1759	1749	1740	1731	1723	1715	1792	9.22
10	1308	1306	1304	1302	1300	1298	1294	1290	1286	1283	1280	1277	1308	9.46
20	1003	1002	1001	1001	999.9	993.3	997.7	996.3	995.0	993.9	992.9	992.0	1003	9.73
30	797.8	797.7	797.5	797.4	797.3	797.1	796.9	796.8	796.7	796.7	796.8	797.0	797.7	10.01
40	653.2	653.4	653.5	653.7	653.8	654.0	654.5	655.0	655.6	656.2	656.9	657.6	653.1	10.31
50	547.2	547.5	547.8	548.1	548.5	548.8	549.6	550.6	551.5	552.4	553.4	554.4	547.0	10.62
60	466.9	467.3	467.7	468.1	468.6	469.0	470.1	471.2	472.3	473.4	474.6	475.8	466.8	10.94
70	404.5	405.0	405.5	405.9	406.4	406.9	408.1	409.4	410.6	411.8	413.1	414.3	404.4	11.26
80	355.0	355.5	356.0	356.5	357.1	357.6	358.9	360.2	361.5	362.8	364.1	365.4	354.9	11.60
90	315.0	315.5	316.1	316.6	317.1	317.7	319.0	320.3	321.7	323.0	324.3	325.7	314.9	11.93
100	12.27	282.7	283.3	283.8	284.3	284.9	286.2	287.6	288.9	290.2	291.6	292.9	282.1	12.28
110	12.65	255.5	256.0	256.6	257.1	257.8	259.0	260.3	261.7	263.0	264.3	265.7	254.9	12.62
120	13.02	232.6	233.1	233.7	234.2	234.7	236.1	237.4	238.7	240.0	241.4	242.7	232.1	12.97
130	13.41	213.2	213.7	214.2	214.8	215.3	216.6	217.9	219.3	220.6	221.9	223.1	212.7	13.32
140	13.79	196.6	197.1	197.6	198.2	198.7	200.0	201.3	202.6	203.9	205.1	206.4	196.1	13.67
150	14.18	182.3	182.8	183.4	183.9	184.4	185.7	187.0	188.2	189.5	190.7	192.0	181.9	14.02
160	14.58	169.9	170.4	171.0	171.5	172.0	173.3	174.5	175.8	177.0	178.2	179.4	169.6	14.37
170	14.97	159.1	159.6	160.1	160.7	161.2	162.4	163.7	164.9	166.1	167.3	168.5	158.8	14.72
180	15.37	149.6	150.1	150.3	151.1	151.6	152.9	154.1	155.3	156.5	157.7	158.9	149.4	15.07
190	15.77	141.2	141.7	142.2	142.7	143.2	144.5	145.7	146.9	148.1	149.2	150.4	141.0	15.42
200	16.18	133.7	134.2	134.7	135.2	135.7	137.0	138.2	139.4	140.6	141.7	142.9	133.6	15.78
210	16.58	127.0	127.5	128.0	128.5	129.0	130.3	131.5	132.7	133.8	135.0	136.1	127.0	16.13
220	16.99	16.56	121.4	121.9	122.4	122.9	124.2	125.4	126.6	127.8	128.9	130.1	121.0	16.49
230	17.40	17.01	115.8	116.4	116.9	117.4	118.7	119.9	121.1	122.3	123.5	124.6	115.5	16.85
240	17.81	17.46	110.7	111.2	111.8	112.3	113.6	114.9	116.1	117.3	118.5	119.6	110.5	17.22
250	18.22	17.90	105.9	106.4	107.0	107.5	108.9	110.2	111.4	112.7	113.9	115.0	105.8	17.59
260	18.63	18.34	18.06	101.9	102.5	103.1	104.5	105.8	107.1	108.4	109.6	110.8	101.5	17.98
270	19.04	18.79	18.54	97.5	98.2	98.8	100.3	101.7	103.0	104.3	105.6	106.8	97.36	18.38
280	19.46	19.22	19.01	18.83	94.0	94.6	96.2	97.7	99.1	100.5	101.8	103.0	93.41	18.80
290	19.87	19.66	19.47	19.32	89.8	90.5	92.2	93.8	95.4	96.8	98.2	99.5	89.58	19.25
300	20.29	20.10	19.93	19.80	19.73	86.4	88.3	90.1	91.7	93.2	94.7	96.0	85.81	19.74

Продолжение таблицы VII

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
310	20.70	20.53	20.39	20.27	20.22	82.1	84.3	86.3	88.0	89.7	91.2	92.7	82.06	20.28
320	21.12	20.97	20.84	20.74	20.70	20.76	80.2	82.4	84.4	86.2	87.9	89.4	78.27	20.89
330	21.53	21.40	21.29	21.21	21.18	21.23	75.7	78.4	80.7	82.7	84.5	86.2	74.37	21.62
340	21.95	21.83	21.73	21.67	21.66	21.71	70.6	74.1	76.8	79.1	81.1	82.9	70.21	22.52
350	22.37	22.26	22.18	22.13	22.12	22.18	22.90	69.1	72.6	75.3	77.6	79.6	65.67	23.72
360	22.78	22.69	22.62	22.59	22.59	22.65	23.24	62.7	67.9	71.3	74.0	76.3	60.21	25.53
370	23.20	23.12	23.06	23.04	23.05	23.11	23.63	26.11	62.1	67.0	70.2	72.9	51.43	29.41
380	23.61	23.55	23.50	23.49	23.51	23.57	24.05	25.66	52.2	61.7	66.1	69.3	—	—
390	24.03	23.97	23.94	23.93	23.96	24.03	24.47	25.73	31.42	54.6	61.4	69.3	—	—
400	24.44	24.40	24.37	24.38	24.41	24.49	24.91	25.96	28.98	43.66	55.70	61.24	—	—
410	24.86	24.82	24.81	24.82	24.86	24.94	25.23	26.02	27.81	33.06	52.70	56.52	—	—
420	25.27	25.25	25.24	25.26	25.31	25.39	25.78	26.61	28.32	32.38	41.84	51.28	—	—
430	25.69	25.67	25.67	25.70	25.75	25.83	26.22	26.98	28.42	31.32	37.38	46.07	—	—
440	26.10	26.09	26.10	26.13	26.19	26.28	26.66	27.37	28.62	30.90	35.13	41.85	—	—
450	26.51	26.51	26.53	26.56	26.63	26.72	27.10	27.77	28.89	30.78	33.98	39.03	—	—
460	26.93	26.93	26.93	26.99	27.06	27.16	27.53	28.17	29.19	30.82	33.40	37.30	—	—
470	27.34	27.35	27.37	27.42	27.50	27.59	27.97	28.58	29.52	30.96	33.12	36.27	—	—
480	27.75	27.76	27.80	27.85	27.93	28.03	28.40	28.99	29.87	31.17	33.04	35.66	—	—
490	28.16	28.18	28.22	28.28	28.36	28.46	28.83	29.40	30.23	31.42	33.07	35.33	—	—
500	28.57	28.59	28.64	28.70	28.79	28.89	29.26	29.82	30.61	31.70	33.19	35.16	—	—
510	28.98	29.01	29.06	29.12	29.21	29.32	29.69	30.23	30.98	32.01	33.36	35.12	—	—
520	29.38	29.42	29.47	29.54	29.63	29.74	30.12	30.64	31.37	32.33	33.58	35.17	—	—
530	29.79	29.83	29.89	29.96	30.06	30.17	30.54	31.06	31.75	32.66	33.83	35.29	—	—
540	30.20	30.24	30.30	30.38	30.48	30.59	30.96	31.47	32.14	33.01	34.10	35.45	—	—
550	30.60	30.65	30.72	30.80	30.89	31.01	31.38	31.88	32.53	33.36	34.39	35.64	—	—
560	31.01	31.02	31.08	31.17	31.27	31.38	31.75	32.25	32.88	33.67	34.65	35.82	—	—
570	31.41	31.42	31.49	31.58	31.68	31.80	32.17	32.66	33.27	34.04	34.97	36.07	—	—
580	31.81	31.83	31.90	31.99	32.10	32.22	32.58	33.06	33.67	34.40	35.29	36.34	—	—
590	32.22	32.23	32.31	32.40	35.51	32.63	33.00	33.47	34.06	34.77	35.63	36.62	—	—
600	32.62	32.63	32.72	32.81	32.92	33.04	33.41	33.88	34.45	35.15	35.97	36.92	—	—
650	34.60	34.67	34.76	34.86	34.98	35.11	35.47	35.92	36.45	37.06	37.76	38.55	—	—
700	36.55	36.63	36.73	36.84	36.96	37.09	37.45	37.88	38.37	38.93	39.55	40.23	—	—

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

$\lambda \cdot 10^3$, Вт/(м·К)

Таблица VIII

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
0	560.9	562.1	563.2	564.2	565.3	566.4	569.2	571.9	574.7	577.4	580.2	582.9	569.0	16.7
10	580.1	581.0	582.0	583.0	583.9	584.9	587.3	589.7	591.9	594.6	597.0	599.4	584.0	17.4
20	598.5	599.4	600.3	601.2	602.1	603.1	605.4	607.6	609.7	612.2	614.5	616.8	602.0	18.1
30	615.6	616.4	617.3	618.2	619.1	620.0	622.3	624.6	626.6	629.1	631.3	633.6	617.0	19.0
40	630.7	631.5	632.5	633.4	634.3	635.2	637.5	639.7	641.8	644.3	646.6	648.8	631.0	19.7
50	643.6	644.5	645.4	646.4	647.3	648.2	650.6	652.9	655.0	657.5	659.8	662.1	642.0	20.4
60	654.3	655.3	656.2	657.2	658.1	659.1	661.5	663.9	666.1	668.7	671.0	673.4	652.0	21.2
70	663.0	664.0	665.0	660.0	667.0	668.0	670.4	672.9	675.1	677.8	680.3	682.7	660.0	22.2
80	669.8	670.8	671.9	672.9	673.9	675.1	677.5	680.1	682.4	685.2	687.7	690.2	669.0	23.1
90	675.0	676.1	677.1	678.2	679.3	680.4	683.0	685.7	688.1	691.0	693.6	696.2	675.0	24.0
100	25.1	679.9	681.0	682.0	683.2	684.3	687.1	689.9	692.4	695.4	698.1	700.8	679.0	25.0
110	25.8	682.5	683.6	684.8	686.0	687.1	690.0	692.9	695.5	698.6	701.4	704.2	681.0	25.7
120	26.5	683.9	685.2	686.4	687.6	688.8	691.8	694.8	697.5	700.7	703.7	706.6	685.0	26.8
130	27.3	684.5	685.7	687.0	688.3	689.5	692.7	695.8	698.6	701.9	705.0	708.0	686.0	28.7
140	28.0	684.1	685.4	686.7	688.0	689.3	692.6	695.9	698.8	702.3	705.5	708.6	686.0	29.7
150	28.9	682.8	684.2	685.6	687.0	688.3	691.7	695.1	698.1	701.8	705.1	708.4	686.0	31.0
160	29.7	680.7	682.2	683.6	685.0	686.5	690.0	693.6	696.7	700.6	704.0	707.4	682.0	31.9
170	30.4	677.8	679.3	680.8	682.3	683.8	687.5	691.2	694.5	698.5	702.1	705.6	687.0	33.6
180	31.5	674.0	675.6	677.2	678.8	680.3	684.2	688.1	691.5	695.7	699.4	703.1	674.0	35.2
190	32.4	669.3	671.0	672.7	674.3	676.0	680.1	684.1	687.7	692.0	695.9	699.8	670.0	37.2
200	33.3	663.7	665.5	667.3	669.0	670.8	675.1	679.3	683.1	687.6	691.6	695.7	664.0	38.8
210	34.2	657.1	659.0	660.9	662.8	664.6	669.2	673.6	677.6	682.3	686.6	690.7	654.0	40.5
220	35.2	42.6	651.5	653.5	655.5	657.5	662.3	667.0	671.2	676.2	680.6	685.0	643.0	43.2
230	36.2	42.8	642.8	645.0	647.1	649.2	654.4	659.4	663.8	669.1	673.8	678.4	632.0	45.2
240	37.2	43.1	632.9	635.2	637.6	639.8	645.4	650.8	655.5	661.1	666.0	670.9	626.0	47.9
250	38.2	43.5	621.5	624.1	626.6	629.1	635.2	641.0	646.1	652.1	657.3	662.5	615.0	51.0
260	39.2	44.0	50.9	611.4	614.3	617.0	623.7	630.0	635.5	641.9	647.6	653.1	602.0	54.2
270	40.2	44.6	50.7	597.0	600.2	603.3	610.7	617.7	623.7	630.7	636.8	642.6	590.0	55.7
280	41.3	45.3	50.7	58.4	584.3	587.8	596.1	603.9	610.5	618.2	624.8	631.1	578.0	61.3
290	42.3	46.0	50.9	57.5	566.3	570.3	579.8	588.5	595.9	604.4	611.6	618.5	564.0	67.3
300	43.4	46.8	51.2	57.0	65.8	550.8	561.6	571.5	579.8	589.2	597.2	604.8	547.0	73.2
310	44.5	47.7	51.6	56.8	64.1	529.1	541.6	552.9	562.2	572.7	581.5	589.9	532.0	79.8

Продолжение таблицы VIII

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
320	45.6	48.5	52.2	56.8	63.1	72.9	519.8	532.7	543.2	554.9	564.6	573.8	512.0	88.3
330	46.7	49.4	52.8	57.0	62.5	70.5	496.2	511.1	523.0	536.0	546.8	556.8	485.0	99.1
340	47.8	50.4	53.5	57.4	62.3	69.0	470.1	488.0	501.6	516.2	528.1	539.0	455.0	116.7
350	49.0	51.4	54.3	57.8	62.3	68.1	100.8	462.9	479.2	495.7	508.7	520.5	447.0	138.0
360	50.1	52.4	55.1	58.4	62.4	67.6	92.1	433.2	454.7	474.2	488.8	501.7	425.0	174.0
370	51.3	53.4	56.0	59.1	62.7	67.4	87.2	164.8	426.3	451.0	468.1	482.5	418.0	293.0
380	52.4	54.5	56.9	59.8	63.2	67.4	84.1	128.2	396.8	424.0	445.6	462.3	—	—
390	53.5	55.5	57.9	60.6	63.7	67.6	82.0	113.6	211.6	388.0	419.1	440.2	—	—
400	54.8	56.6	59.2	61.4	64.4	67.9	80.7	105.4	158.1	330.9	385.1	414.4	—	—
410	55.9	57.8	59.9	62.3	65.1	68.3	79.8	100.1	142.2	243.6	339.9	382.4	—	—
420	57.1	58.9	60.8	62.3	65.8	68.9	79.3	96.5	128.1	191.6	285.0	343.9	—	—
430	58.3	60.0	61.9	64.1	66.6	69.5	79.0	94.0	119.2	163.9	234.6	301.4	—	—
440	59.5	61.2	63.0	65.1	67.5	70.2	79.0	92.2	113.1	147.2	199.6	260.6	—	—
450	60.8	62.3	64.4	66.1	68.4	71.0	79.2	91.0	106.7	136.1	176.4	226.9	—	—
460	62.0	63.5	65.2	67.2	69.4	71.8	79.5	90.3	105.8	128.4	160.6	201.7	—	—
470	63.2	64.7	66.4	68.3	70.4	72.7	79.9	89.8	103.6	122.9	149.4	183.2	—	—
480	64.5	65.9	67.5	69.4	71.4	73.6	80.5	89.6	102.0	118.8	141.3	169.6	—	—
490	65.7	67.1	68.7	70.5	72.4	74.6	81.1	89.7	101.0	115.9	135.3	159.4	—	—
500	67.0	68.3	70.1	71.6	73.5	75.6	81.9	89.9	99.1	113.7	130.8	151.7	—	—
510	68.2	69.6	71.2	72.8	74.6	76.7	82.6	90.2	99.9	112.1	127.4	145.9	—	—
520	69.5	70.9	72.3	74.0	75.8	77.7	83.5	90.7	99.8	111.0	124.8	141.4	—	—
530	70.8	72.1	73.5	75.2	76.9	78.8	84.4	91.3	99.9	110.3	123.0	138.0	—	—
540	72.1	73.4	74.8	76.4	78.1	80.0	85.4	92.0	100.1	109.9	121.7	135.4	—	—
550	73.4	74.6	76.1	77.6	79.3	81.1	86.4	92.8	99.7	109.8	120.8	133.5	—	—
560	74.6	75.9	77.3	78.8	80.5	82.3	87.5	93.7	101.1	109.9	120.2	132.1	—	—
570	75.9	77.1	78.5	80.1	81.7	83.5	88.5	94.6	101.7	110.2	119.9	131.1	—	—
580	77.3	78.4	79.8	81.3	83.0	84.7	89.6	95.6	102.5	110.6	119.9	130.4	—	—
590	78.6	79.7	81.1	82.6	84.2	85.9	90.7	96.6	103.3	111.1	120.0	130.1	—	—
600	79.9	81.1	82.4	83.9	85.5	87.1	91.9	97.6	103.4	111.7	120.3	129.9	—	—
650	86.6	87.7	89.0	90.4	91.9	93.5	98.0	103.2	109.1	115.8	123.2	131.4	—	—
700	93.4	94.5	95.7	97.0	98.5	100.0	104.2	109.1	114.1	120.8	127.5	134.8	-	—

КРИТЕРИЙ Pr ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Таблица IX

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
0	13.47	13.38	13.28	13.20	13.10	13.02	12.80	12.59	12.40	12.21	12.10	11.80	13.47	1.01
10	9.45	9.40	9.36	9.31	9.27	9.22	9.11	9.01	8.91	8.82	8.72	8.64	9.46	1.00
20	7.01	6.98	6.95	6.93	6.90	6.88	6.82	6.76	6.70	6.65	6.60	6.55	7.01	1.00
30	5.42	5.40	5.38	5.37	5.35	5.34	5.30	5.27	5.23	5.20	5.17	5.14	5.42	0.997
40	4.33	4.32	4.31	4.30	4.29	4.28	4.25	4.23	4.21	4.19	4.17	4.15	4.33	0.996
50	3.55	3.55	3.54	3.53	3.53	3.52	3.50	3.49	3.47	3.46	3.44	3.43	3.55	0.993
60	2.99	2.98	2.98	2.97	2.97	2.96	2.95	2.94	2.93	2.92	2.91	2.90	2.99	0.992
70	2.56	2.55	2.55	2.55	2.54	2.54	2.53	2.52	2.52	2.51	2.50	2.50	2.56	0.990
80	2.22	2.22	2.22	2.22	2.21	2.21	2.21	2.20	2.20	2.19	2.18	2.18	2.22	0.993
90	1.96	1.96	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.95	1.94	1.94	1.93	1.93	1.96	0.994
100	0.994	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.74	1.73	1.73	1.73	1.75	0.995
110	0.989	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57	1.56	1.58	0.999
120	0.984	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.44	1.00
130	0.980	1.33	1.33	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.31	1.33	1.01
140	0.977	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.23	1.02
150	0.973	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15	1.03
160	0.970	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.04
170	0.967	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.03	1.06
180	0.965	0.977	0.977	0.976	0.975	0.974	0.972	0.970	0.968	0.967	0.965	0.964	0.978	1.08
190	0.962	0.938	0.937	0.936	0.935	0.934	0.931	0.930	0.927	0.925	0.924	0.922	0.938	1.11
200	0.960	0.905	0.904	0.903	0.902	0.901	0.898	0.895	0.893	0.891	0.889	0.887	0.906	1.13
220	0.955	1.14	0.857	0.855	0.854	0.852	0.848	0.845	0.841	0.838	0.836	0.833	0.859	1.20
240	0.951	1.08	0.832	0.830	0.827	0.825	0.819	0.814	0.809	0.805	0.801	0.798	0.834	1.29
260	0.947	1.04	1.27	0.827	0.823	0.819	0.809	0.801	0.794	0.788	0.782	0.777	0.830	1.41
270	0.945	1.03	1.21	0.836	0.830	0.824	0.812	0.802	0.793	0.785	0.779	0.773	0.838	1.47
280	0.943	1.02	1.17	1.46	0.845	0.837	0.821	0.808	0.797	0.787	0.779	0.772	0.852	1.55
290	0.941	1.01	1.13	1.35	0.870	0.860	0.838	0.820	0.806	0.794	0.783	0.774	0.873	1.64
300	0.940	0.997	1.10	1.28	1.59	0.895	0.864	0.840	0.821	0.805	0.792	0.781	0.904	1.74
310	0.938	0.988	1.08	1.22	1.45	0.948	0.903	0.869	0.844	0.823	0.806	0.792	0.950	1.86
320	0.936	0.981	1.06	1.17	1.35	1.65	0.960	0.911	0.876	0.848	0.826	0.808	1.01	2.01
340	0.933	0.970	1.03	1.11	1.23	1.39	1.22	1.06	0.981	0.928	0.890	0.861	1.24	2.43

Продолжение таблицы IX

t, °C	Давление p, МПа												Линия насыщения	
	0.1	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	Вода	Пар
350	0.931	0.967	1.02	1.10	1.19	1.32	2.01	1.21	1.06	0.980	0.928	0.890	1.49	2.82
360	0.926	0.958	1.01	1.08	1.16	1.26	1.73	1.65	1.20	1.06	0.980	0.928	2.13	3.79
370	0.931	0.969	1.01	1.06	1.13	1.22	1.54	2.91	1.53	1.18	1.05	0.975	6.54	9.61
380	0.928	0.957	0.997	1.04	1.10	1.17	1.44	2.04	3.10	1.44	1.17	1.05	—	—
390	0.925	0.951	0.986	1.03	1.08	1.14	1.35	1.73	3.68	2.06	1.37	1.15	—	—
400	0.923	0.947	0.977	1.01	1.06	1.11	1.28	1.56	2.24	3.39	1.71	1.30	—	—
410	0.922	0.945	0.969	1.01	1.04	1.12	1.22	1.44	1.83	2.83	2.23	1.52	—	—
420	0.921	0.940	0.966	1.01	1.03	1.09	1.19	1.36	1.63	2.15	2.49	1.79	—	—
430	0.919	0.937	0.960	0.996	1.02	1.07	1.16	1.30	1.49	1.81	2.22	2.01	—	—
440	0.918	0.934	0.956	0.987	1.01	1.06	1.13	1.25	1.40	1.62	1.92	2.01	—	—
450	0.916	0.932	0.952	0.973	1.00	1.03	1.11	1.21	1.33	1.50	1.71	1.87	—	—
460	0.913	0.930	0.948	0.968	0.990	1.03	1.09	1.17	1.28	1.41	1.57	1.72	—	—
470	0.912	0.926	0.945	0.963	0.983	1.01	1.07	1.15	1.23	1.34	1.46	1.59	—	—
480	0.912	0.923	0.941	0.958	0.977	1.01	1.05	1.12	1.20	1.29	1.39	1.49	—	—
490	0.911	0.922	0.938	0.954	0.970	0.989	1.04	1.10	1.17	1.24	1.32	1.41	—	—
500	0.910	0.921	0.935	0.949	0.965	0.982	1.03	1.08	1.14	1.20	1.27	1.35	—	—
520	0.907	0.916	0.929	0.943	0.955	0.974	1.01	1.05	1.09	1.14	1.20	1.25	—	—
540	0.904	0.913	0.923	0.937	0.946	0.962	0.989	1.02	1.06	1.10	1.14	1.18	—	—
560	0.902	0.910	0.919	0.929	0.938	0.948	0.974	1.00	1.03	1.06	1.08	1.11	—	—
580	0.899	0.907	0.913	0.922	0.929	0.938	0.959	0.980	1.00	1.03	1.05	1.07	—	—
600	0.898	0.903	0.909	0.919	0.922	0.928	0.945	0.962	0.979	0.996	1.01	1.03	—	—
620	0.897	0.900	0.905	0.908	0.914	0.919	0.933	0.946	0.958	0.972	0.985	0.994	—	—
640	0.894	0.896	0.901	0.904	0.908	0.912	0.922	0.932	0.940	0.950	0.958	0.964	—	—
660	0.892	0.895	0.898	0.901	0.904	0.907	0.914	0.920	0.926	0.932	0.937	0.942	—	—
680	0.890	0.894	0.896	0.898	0.902	0.903	0.909	0.913	0.915	0.918	0.921	0.923	—	—
700	0.888	0.892	0.895	0.897	0.900	0.901	0.905	0.906	0.907	0.907	0.907	0.907	—	—

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица X

№ п/п	Вид топлива	Температура, °С										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Коэффициент теплопроводности $\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м · К)											
1	Природный газ	2.92	4.21	5.55	6.95	8.39	9.87	11.39	12.91	14.42	16.05	17.68
2	Газ доменных печей	2.48	3.22	3.94	4.64	5.31	5.98	6.63	7.27	7.90	8.51	9.12
3	Газ коксовых печей (очищенный)	7.97	10.41	12.79	15.00	17.36	19.42	21.63	23.73	25.82	27.91	29.89
4	Газ коксовых печей (неочищенный)	7.94	10.39	12.68	14.88	17.09	19.30	21.51	23.61	25.70	27.80	29.77
	Коэффициент кинематической вязкости $\nu \cdot 10^6$, $м^2/с$											
1	Природный газ	14.3	24.6	37.7	52.6	70.3	90.0	112.0	136.0	161.0	188.0	217.0
2	Газ доменных печей	12.7	21.7	32.9	45.8	60.0	76.7	94.2	113.0	135.0	157.0	181.0
3	Газ коксовых печей (очищенный)	25.9	44.2	66.7	92.9	122.0	156.0	193.0	233.0	273.0	319.0	368.0
4	Газ коксовых печей (неочищенный)	24.6	41.6	64.7	89.2	117.0	149.0	185.0	223.0	264.0	307.0	353.0
	Критерий физических свойств Pr											
1	Природный газ	0.735	0.734	0.763	0.797	0.836	0.862	0.886	0.904	0.917	0.925	0.928
2	Газ доменных печей	0.682	0.672	0.668	0.665	0.668	0.673	0.678	0.682	0.686	0.690	0.693
3	Газ коксовых печей (очищенный)	0.425	0.430	0.440	0.454	0.465	0.475	0.483	0.493	0.500	0.507	0.514
4	Газ коксовых печей (неочищенный)	0.420	0.429	0.440	0.455	0.467	0.477	0.486	0.495	0.503	0.510	0.517

Примечание: в таблице приведены примерные значения физических характеристик газообразных топлив каждого вида.

СРЕДНЯЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Таблица XI

t, °C	c_{CO}	c_{H_2}	c_{H_2S}	c_{CH_4}	$c_{C_2H_6}$	$c_{C_3H_8}$	$c_{C_4H_{10}}$	$c_{C_5H_{12}}$
	кДж/(м³·К)							
0	1.300	1.278	1.508	1.548	2.210	3.049	4.129	5.130
100	1.303	1.289	1.534	1.642	2.495	3.510	4.705	5.836
200	1.307	1.300	1.562	1.757	2.776	3.964	5.256	6.516
300	1.314	1.300	1.595	1.883	3.046	4.370	5.774	7.135
400	1.328	1.303	1.634	2.012	3.308	4.759	6.268	7.740
500	1.343	1.307	1.670	2.138	3.557	5.094	6.689	8.255
600	1.357	1.307	1.710	2.261	3.776	5.429	7.114	8.784
700	1.372	1.310	1.746	2.380	3.985	5.724	7.484	9.230
800	1.386	1.314	1.782	2.495	4.183	5.987	7.808	9.626
900	1.397	1.325	18	2.603	4.363	6.232	8.114	9.990
1000	1.411	1.328	1.850	2.700	4.529	6.462	8.402	10.346

ОБЪЕМЫ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Таблица XII

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	$V^{н}_{0}$	$V^{н}_{RO_2}$	$V^{н}_{0,N_2}$	$V^{н}_{0,H_2O}$	$V^{н}_{0,г}$
				м³/кг при α=1, t=0 °С и p=101,3 кПа				
1	Донецкий бассейн	Д	Р	4.63	0.84	3.66	0.60	5.10
2	Донецкий бассейн	Д	отсев	4.50	0.82	3.56	0.60	4.98
3	Донецкий бассейн	Д	концентрат	4.86	0.88	3.84	0.63	5.35
4	Донецкий бассейн	Г	Р	5.11	0.92	4.04	0.58	5.54
5	Донецкий бассейн	Г	отсев	4.95	0.89	3.91	0.58	5.38
6	Донецкий бассейн	Г	концентрат	5.99	1.10	4.74	0.68	6.52
47	Талдинский разрез	Г	РОК II	3.90	0.76	3.01	0.64	4.49
48	Карагандинский бассейн	К	Р, отсев	4.78	0.88	3.78	0.51	5.17
49	Карагандинский бассейн	К	концентрат	6.10	1.11	4.83	0.62	6.56
50	Карагандинский бассейн	К	промпродукт	4.28	0.79	3.39	0.49	4.67
51	Карагандинский бассейн	К	шлам	4.61	0.84	3.65	0.60	5.09
12	Донецкий бассейн	Ж, ОС	шлам	4.25	0.77	3.37	0.54	4.68
13	Донецкий бассейн	Т	Р	5.61	1.05	4.44	0.44	5.93
14	Донецкий бассейн	А	штыб, СШ	4.91	0.99	3.88	0.30	5.17
15	Донецкий бассейн	А	шлам	3.79	0.76	3.00	0.40	4.16
16	Новомосковское	3Б, Д	—	4.50	0.84	3.56	0.74	5.14
17	Новомосковское	Д, Г	—	4.73	0.88	3.74	0.72	5.34
18	Привольнянское	Д	—	5.22	0.95	4.13	0.65	5.73
19	Северо-Александровские 1-2	Д, Г	—	4.96	0.92	3.93	0.62	5.47
20	Успеновские 1-4	Д, Г	—	4.98	0.92	3.95	0.62	5.49
21	Новосветловское	Г	—	5.48	0.99	4.34	0.64	5.97
22	Светлановский	Г	—	5.16	0.93	4.08	0.57	5.58
23	Чапаевский рудник	Г	—	5.65	1.02	4.47	0.64	6.13
24	Углегорский Восточный	Т, А	—	6.32	1.19	5.00	0.46	6.65
25	Ольховатский	А	—	6.34	1.21	5.01	0.41	6.63
26	Володарский рудник	А	—	6.33	1.28	5.00	0.30	6.58
27	Миусский 1-2	А	—	6.23	1.20	4.93	0.41	6.54
28	Кузнецкий бассейн	Д	Р, СШ	5.76	1.06	4.56	0.68	6.30
29	Кузнецкий бассейн	Г	Р,МСШ, СШ	6.21	1.12	4.92	0.67	6.71
30	Кузнецкий бассейн	Г	промпродукт	4.87	0.87	3.86	0.62	5.35
31	Кузнецкий бассейн	Г	шлам	5.61	1.02	4.45	0.79	6.26
32	Кузнецкий бассейн	1СС	Р, СШ	6.16	1.14	4.88	0.61	6.63
33	Кузнецкий бассейн	2СС	Р, СШ	6.69	1.23	5.30	0.60	7.13
34	Кузнецкий бассейн	Т	Р, СШ	6.95	1.31	5.51	0.53	7.35
35	Кузнецкий бассейн	Ж	промпродукт	4.73	0.85	3.75	0.50	5.10
36	Кузнецкий бассейн	К	промпродукт	5.03	0.93	3.99	0.50	5.42
37	Кузнецкий бассейн	А	Р	6.45	1.29	5.10	0.39	6.78
38	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Д	РОК I	4.77	0.90	3.78	0.66	5.34
39	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК I	5.39	1.00	4.27	0.66	5.93
40	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Г	РОК II	4.30	0.83	3.41	0.61	4.85
41	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК I	6.11	1.15	4.84	0.61	6.60
42	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК II	4.43	0.90	3.51	0.53	4.99
43	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК I	5.84	1.11	4.63	0.57	6.31
44	Углеразрезы Кузнецкого б-на	2СС	РОК II	4.40	0.89	3.49	0.54	4.92
45	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК I	5.87	1.15	4.65	0.45	6.25
46	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Т	РОК II	4.91	1.00	3.89	0.45	5.34
47	Талдинский разрез	Г	РОК II	3.90	0.76	3.01	0.64	4.49
48	Карагандинский бассейн	К	Р, отсев	4.78	0.88	3.78	0.51	5.17
49	Карагандинский бассейн	К	концентрат	6.10	1.11	4.83	0.62	6.56
50	Карагандинский бассейн	К	промпродукт	4.28	0.79	3.39	0.49	4.67
51	Карагандинский бассейн	К	шлам	4.61	0.84	3.65	0.60	5.09
52	Куучекинское	2К	Р	4.56	0.83	3.61	0.47	4.91
53	Борлинское	2К	Р	4.28	0.78	3.39	0.47	4.64
54	1-я гр. Зольности	СС	Р	4.56	0.84	3.61	0.49	4.94
55	2-я гр. Зольности	СС	Р	3.92	0.72	3.10	0.43	4.25
56	Кушмурунское	2Б	Р	3.41	0.65	2.70	0.79	4.14
57	Приозерное	2Б	Р	3.40	0.65	2.69	0.78	4.12
58	Орловское	2Б	Р	3.11	0.61	2.46	0.72	3.79
59	Шоптыкольское	3Б	Р	4.12	0.78	3.26	0.62	4.66
60	Сарыкольское[1]	3Б	—	3.97	0.75	3.14	0.66	4.55
61	Подмосковный б-н в целом[2]	2Б	Р, ОМСШ	2.47	0.47	1.96	0.65	3.08
62	в том числе, высокозольный	2Б	Р, ОМСШ	2.38	0.45	1.88	0.65	2.98
63	Интинское	Д	Р, отсев	4.50	0.84	3.56	0.54	4.94
64	Воркутинское	Ж	Р, отсев	5.44	0.99	4.31	0.55	5.85
65	Днепровский бассейн	1Б	Р	2.04	0.38	1.62	0.89	2.89
66	Волынское	Г	Р, отсев	5.19	0.95	4.11	0.57	5.63
67	Межреченское	ГЖ	Р	5.15	0.93	4.08	0.55	5.56
68	Кизеловский бассейн	Ж	Р	5.29	0.94	4.19	0.55	5.68
69	Кизеловский бассейн	Г	Р, МСШ, промпродукт	4.51	0.80	3.57	0.52	4.89
70	Кизеловский бассейн	Г	промпродукт шлам	3.63	0.65	2.87	0.56	4.08
71	Челябинский бассейн	3Б	Р, отсев	3.36	0.63	2.66	0.54	3.83
72	Волчанское и Богословское	3Б	Р	2.59	0.52	2.05	0.55	3.12
73	Бабаевское	1Б	Р	2.40	0.44	1.90	0.97	3.31
74	Тульганское	1Б	Р	2.26	0.42	1.79	0.91	3.12
75	Ткибульское	Д	МСШ	3.89	0.71	3.08	0.57	4.36
76	Ткибульское	Г	Р, шлам, промпродукт	4.69	0.85	3.71	0.65	5.21
77	Ткварчельское	Ж	промпродукт	4.48	0.80	3.55	0.57	4.92

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	$V^н_0$	$V^н_{RO_2}$	$V^н_{0,N_2}$	$V^н_{0,H_2O}$	$V^н_{0,г}$
				м³/кг при α=1, t=0 °С и p=101,3 кПа				
78	Ангренское	2Б	ОМСШ	3.74	0.74	2.95	0.70	4.39
79	Шаргуньское	СС	СШ	6.48	1.22	5.12	0.56	6.90
80	Кок-Янгак	Д	СШ	5.61	1.06	4.44	0.59	6.09
81	Таш-Кумыр	Д	СШ	4.42	0.84	3.50	0.57	4.91
82	Сулюктинское	3Б	СШ	4.57	0.89	3.61	0.62	5.12
83	Кызыл-Кия	3Б	СШ	4.40	0.86	3.48	0.68	5.02
84	Кара-Кичe [1]	3Б		5.29	1.03	4.19	0.67	5.89
85	Шураб 1/2	3Б	Р	3.81	0.77	3.01	0.52	4.30
86	Шураб 8	3Б	СШ	4.00	0.81	3.17	0.60	4.58
87	Ирша-Бородинское	2Б	Р	4.15	0.80	3.28	0.81	4.89
88	Назаровское	2Б	Р	3.57	0.70	2.82	0.82	4.34
89	Березовское	2Б	Р	4.28	0.83	3.38	0.82	5.03
90	Боготольское [1]	1Б	—	3.31	0.64	2.62	0.87	4.13
91	Абанское [1]	2Б	—	4.04	0.78	3.19	0.80	4.77
92	Барандатское [1]	2Б	—	4.06	0.78	3.21	0.85	4.84
93	Итатское [1]	1Б	—	3.53	0.69	2.79	0.85	4.33
94	Большесырское [1]	3Б	—	5.10	0.97	4.03	0.78	5.78
95	Черногорское	Д	Р,МСШ, СШ	4.99	0.93	3.95	0.62	5.50
96	Черемховское и Забитуйское	Д	Р, МСШ	4.36	0.80	3.45	0.60	4.85
97	Азейское	3Б	Р	4.26	0.80	3.37	0.72	4.89
98	Мугунское [1]	3Б	—	4.71	0.87	3.73	0.75	5.35
99	Каахемское	Г	Р	6.75	1.22	5.34	0.70	7.26
100	Гусиноозерское (Холбольдж)	3Б	Р	3.85	0.74	3.05	0.70	4.49
101	Никольское [1]	Д, ДГ	Р	5.93	1.09	4.70	0.63	6.42
102	Олонь-Шибирское	Д, ДГ	Р	5.88	1.09	4.65	0.64	6.38
103	Букачачинское	Г	Р	6.52	1.19	5.15	0.69	7.03
104	Татауровское	2Б	Р	4.02	0.77	3.18	0.79	4.74
105	Харанорское	1Б	Р	3.23	0.63	2.55	0.79	3.97
106	Тарбагатайское	3Б	Р	4.34	0.79	3.43	0.79	5.01
107	Арбагарское	3Б	Р	3.77	0.72	2.99	0.71	4.42
108	Уртуйское [1]	3Б	Р	4.61	0.88	3.64	0.77	5.29
109	Артемовское	3Б	Р, СШ	2.92	0.55	2.31	0.61	3.47
110	Партизанский бассейн	Г	Р, СШ	5.08	0.93	4.02	0.51	5.46
111	Партизанский бассейн	Ж	Р	5.37	0.99	4.25	0.51	5.75
112	Партизанский бассейн	Т	Р	5.83	1.10	4.61	0.46	6.17
113	Партизанский бассейн	Ж	концентрат	6.27	1.15	4.96	0.59	6.70
114	Партизанский бассейн	Ж, Т	промпродукт	4.58	0.85	3.63	0.47	4.95
115	Партизанский бассейн	Т	концентрат	6.65	1.25	5.26	0.51	7.02
116	Ургальское	Г	Р	4.80	0.87	3.80	0.58	5.25
117	Райчихинское	2Б	Р, МСШ	3.29	0.65	2.61	0.75	4.01
118	Райчихинское	2Б	Р, окислен.	2.54	0.52	2.01	0.80	3.33
119	Липовецкое	Д	Р, СШ	4.26	0.78	3.37	0.52	4.67
120	Реттиховское	1Б	Р, СШ	2.53	0.49	2.00	0.72	3.21
121	Павловское	1Б	Р, СШ	2.57	0.48	2.03	0.81	3.32
122	Бикинское	1Б	Р	2.32	0.45	1.84	0.76	3.05
123	Ерковецкое [1]	2Б	Р	3.26	0.66	2.58	0.75	3.99
124	Лиманское [1]	2Б	Р	3.10	0.59	2.46	0.82	3.87
125	Раковское [1]	1Б	Р	2.85	0.54	2.25	0.83	3.62
126	Свободное [1]	1Б	Р	2.63	0.50	2.08	0.95	3.53
127	Джебарикн-Хая	Д	Р	5.90	1.10	4.66	0.69	6.45
128	Сангарское	Д,Г	Р	6.00	1.09	4.75	0.70	6.54
129	Чульмаканское	Ж	Р	6.16	1.10	4.88	0.65	6.63
130	Нерюнгринское	ЗСС	Р	5.95	1.12	4.71	0.56	6.39
131	Нерюнгринское	К	промпродукт	5.80	1.08	4.58	0.54	6.20
132	Харанга	Т	Р	6.83	1.26	5.41	0.64	7.31
133	Галимовское	А	Р	6.03	1.20	4.77	0.40	6.37
134	Аркагалинское (открытые)	Д	Р	4.82	0.92	3.81	0.66	5.39
135	Аркагалинское (подземные)	Д	Р, СШ	5.19	0.98	4.11	0.68	5.77
136	Кангаласское	3Б-2Б	Р	4.15	0.80	3.29	0.77	4.86
137	Анадырское	3Б	Р	4.87	0.90	3.85	0.76	5.51
138	Южный Сахалин	3Б	Р, СШ	3.97	0.74	3.14	0.65	4.53
139	Южный Сахалин	Д	Р, СШ	5.06	0.92	4.01	0.64	5.57
140	Южный Сахалин	Г	Р, СШ	5.90	1.06	4.67	0.69	6.42
141	Солнцевское [1]	3Б	Р	4.55	0.85	3.60	0.70	5.15
142	Эстон-сланец	сланец	0 - 300мм	2.41	0.38	1.90	0.48	2.76
143	Ленинград-сланец	сланец	0 - 300мм	2.08	0.33	1.65	0.41	2.39
144	Кашпирское	сланец	0 - 300мм	1.29	0.22	1.02	0.35	1.59
145	Коцебинское и Перелюбское	сланец	пласт I	1.83	0.31	1.45	0.67	2.43
146	Болтышское [1]	сланец	—	1.59	0.26	1.26	0.63	2.15
147	Росторф (фрезторф)	торф	—	2.38	0.46	1.89	0.95	3.30
	Жидкие топлива							
1	Мазут	40 и 100	Низкосернистый	10.92	1.63	8.63	1.50	11.76
2	Мазут	40 и 100	Малосернистый	10.91	1.62	8.62	1.52	11.76
3	Мазут	40 и 100	Сернистый	10.70	1.61	8.45	1.45	11.51
4	Мазут	40 и 100	Высокосернистый	10.44	1.61	8.25	1.36	11.22

[1] Месторождение не разрабатывается, характеристики топлив приведены по анализам геологических проб.

[2] В том числе Скопинское шахтоуправление с $S^{daf}_{об}$ = 12 %.

ОБЪЕМЫ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица XIII

№ п/п	Газопровод	$V_o^н$	$V_{RO_2}^н$	$V_{o.N_2}^н$	$V_{o.H_2O}^н$	$V_{o.г}^н$
		$м^3/м^3$ при $\alpha=1$, $t=0$ °С и $p=101{,}3$ кПа				
	Природные газы					
1	Уренгой-Надым-Пунга-Ухта	9.42	0.99	7.46	2.13	10.58
2	Уренгой-Ужгород	9.44	0.99	7.47	2.13	10.59
3	Уренгой-Новопсков	9.44	0.99	7.47	2.14	10.60
4	Уренгой-Сургут-Челябинск	9.49	1.00	7.51	2.14	10.65
5	Надым-Пунга-Н.Тура-Свердловск-Челябинск	9.44	0.99	7.47	2.13	10.59
6	Н.Новгород-Иваново-Череповец	9.48	1.00	7.50	2.14	10.64
7	Бухара-Урал	9.93	1.06	7.85	2.21	11.12
8	Средняя Азия-Центр	9.73	1.05	7.69	2.17	10.91
9	Саратов-Москва	9.78	1.05	7.77	2.16	10.98
10	Мострансгаз (кольцо)	9.62	1.02	7.61	2.16	10.79
11	Оренбург-Александров Гай	9.70	1.05	7.73	2.14	10.92
	Попутные газы					
12	Каменный Лог-Пермь	11.16	1.31	9.05	2.25	12.61
13	Ярино-Пермь	12.37	1.47	9.96	2.47	13.90
14	Кулешовка-Самара	10.99	1.26	8.82	2.28	12.36
15	Безенчук-Чапаевск	12.46	1.48	10.01	2.49	13.98
16	Барса-Гельмес-Вышка-Небит-Даг	10.11	1.09	7.99	2.24	11.32
17	На входе в г.Краснодар, Крымск, Новороссийск	10.16	1.11	8.03	2.24	11.38
18	Вознесенская-Грозный, Карабулак-Грозный	12.40	1.40	9.79	2.60	13.79
19	Тэбук-Сосновка	11.86	1.39	9.53	2.40	13.32
20	Туймазы-Уфа	11.28	1.30	9.08	2.32	12.70
21	Шкапово-Туймазы	9.65	1.11	7.89	1.99	10.99
22	Казань-Бугульма-Лениногорск-Альметьевск	10.69	1.22	8.60	2.23	12.05
	Промышленные газы					
23	Газ доменных печей	0.76	0.39	1.18	0.05	1.62
24	Газ коксовых печей	4.16	0.39	3.33	1.19	4.91

ЭНТАЛЬПИИ 1 м³ ГАЗОВ И ВОЗДУХА И 1 кг ЗОЛЫ

Таблица XIV

ϑ, °C	$(c\vartheta)_{CO_2}$	$(c\vartheta)_{N_2}$	$(c\vartheta)_{H_2O}$	$(c\vartheta)_{в}$	$(c\vartheta)_{зл}$	ϑ, °C	$(c\vartheta)_{CO_2}$	$(c\vartheta)_{N_2}$	$(c\vartheta)_{H_2O}$	$(c\vartheta)_{в}$	$(c\vartheta)_{зл}$
	кДж/м³				кДж/кг		кДж/м³				кДж/кг
100	171.7	130.1	150.5	132.7	80.8	1400	3239	2009	2559	2076	1583
200	360.0	261.0	304.0	267.0	169.1	1500	3503	2166	2779	2239	1759
300	563	394	463	403	264	1600	3769	2324	3002	2403	1876
400	776	529	626	542	360	1700	4036	2484	3229	2567	2064
500	999	667	795	685	458	1800	4305	2644	3458	2732	2186
600	1231	808	969	830	560	1900	4574	2804	3690	2899	2387
700	1469	952	1149	979	662	2000	4844	2965	3926	3066	2512
800	1712	1098	1334	1129	767	2100	5115	3127	4163	3234	—
900	1961	1247	1526	1283	875	2200	5386	3289	4402	3402	—
1000	2213	1398	1723	1438	984	2300	5658	3452	4643	3571	—
1100	2458	1551	1925	1595	1097	2400	5930	3615	4888	3740	—
1200	2717	1705	2132	1754	1206	2500	6203	3778	5132	3910	—
1300	2977	1853	2344	1914	1361						

ЭНТАЛЬПИИ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА 1 кг ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Таблица XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при $\alpha=1$	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
1	Донецкий бассейн	Д	Р	$I_г^\circ$	712	1444	2968	4577	6264	8022	9813	11630	13492	15383	17301	19241	21184	22148
				$I_в^\circ$	614	1234	2508	3840	5229	6662	8114	9605	11116	12626	14175	15724	17293	18087
2	Донецкий бассейн	Д	отсев	$I_г^\circ$	695	1409	2895	4465	6111	7827	9574	11348	13165	15011	16683	18776	20674	21615
				$I_в^\circ$	597	1200	2439	3735	5086	6479	7892	9342	10811	12281	13787	15294	16820	17592
3	Донецкий бассейн	Д	концентрат	$I_г^\circ$	747	1315	3113	4802	6571	8416	10294	12200	14153	16137	18149	20183	22222	23233
				$I_в^\circ$	645	1295	2633	4032	5490	6994	8519	10085	11671	13256	14983	16510	18157	18990
4	Донецкий бассейн	Г	Р	$I_г^\circ$	772	1566	3219	4965	6794	8699	10639	12606	14622	16669	18744	20842	22944	23986
				$I_в^\circ$	678	1362	2770	4241	5775	7357	8962	10608	12277	13945	15656	17367	19099	19976
5	Донецкий бассейн	Г	отсев	$I_г^\circ$	750	1521	3127	4822	6599	8450	10335	12246	14205	16194	18211	20250	22293	23306
				$I_в^\circ$	656	1319	2681	4106	5590	7122	8675	10269	11884	13499	15156	16812	18489	19338
6	Донецкий бассейн	Г	концентрат	$I_г^\circ$	907	1840	3782	5834	7983	10222	12501	14814	17181	19587	22025	24491	26960	28185
				$I_в^\circ$	795	1597	3247	4972	6770	8626	10506	12437	14393	16349	18355	20361	22392	23420
7	Донецкий бассейн	Г	промпродукт	$I_г^\circ$	653	1325	2723	4199	5747	7360	9002	10669	12377	14112	15872	17651	19433	20318
				$I_в^\circ$	565	1135	2308	3534	4812	6131	7468	8840	10230	11620	13046	14472	15915	16646
8	Донецкий бассейн	Г	шлам	$I_г^\circ$	594	1204	2475	3817	5225	6693	8189	9709	11267	12850	14457	16081	17709	18518
				$I_в^\circ$	499	1002	2038	3120	4249	5413	6593	7805	9032	10260	11519	12778	14052	14697
9	Донецкий бассейн	Ж	Р	$I_г^\circ$	829	1681	3455	5329	7291	9334	11414	13521	15679	17870	20090	22336	24584	25698
				$I_в^\circ$	741	1489	3026	4634	6310	8039	9792	11592	13415	15237	17107	18977	20870	21828
10	Донецкий бассейн	ОС	Р	$I_г^\circ$	902	1830	3762	5802	7937	10160	12422	14714	17059	19440	21853	24293	26735	27944
				$I_в^\circ$	815	1637	3328	5096	6938	8840	10767	12746	14750	16755	18811	20867	22948	24002
11	Донецкий бассейн	Ж, ОС	промпродукт	$I_г^\circ$	659	1336	2746	4235	5795	7421	9077	10756	12476	14224	15996	17787	19582	20472
				$I_в^\circ$	575	1156	2347	3594	4804	6235	7595	8991	10406	11818	13269	14719	16187	16930

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
12	Донецкий бассейн	Ж, ОС	шлам	$I_г^\circ$	653	1324	2721	4196	5743	7355	8996	10662	12368	14102	15800	17637	19418	20302
				$I_в^\circ$	564	1134	2305	3530	4806	6124	7459	8830	10218	11607	13031	14455	15897	16627
13	Донецкий бассейн	Т	Р	$I_г^\circ$	824	1671	3435	5298	7248	9279	11344	13436	15577	17751	19953	22181	24409	25513
				$I_в^\circ$	744	1495	3040	4655	6338	8075	9835	11643	13474	15305	17182	19060	20962	21924
14	Донецкий бассейн	А	штыб, СШ	$I_г^\circ$	719	1458	3001	4631	6336	8111	9915	11743	13611	15508	17429	19372	21314	22276
				$I_в^\circ$	651	1308	2660	4073	5546	7065	8606	10187	11789	13391	15034	16678	18341	19183
15	Донецкий бассейн	А	шлам	$I_г^\circ$	580	1178	2423	3740	5119	6555	8017	9501	11019	12561	14123	15704	17286	18070
				$I_в^\circ$	503	1010	2054	3145	4282	5456	6645	7866	9104	10341	11609	12878	14163	14813
16	Новомосковское	ЗБ; Д	—	$I_г^\circ$	719	1458	2997	4623	6329	8108	9922	11764	13653	15572	17520	19489	21463	22444
				$I_в^\circ$	598	1201	2441	3738	5089	6484	7898	9349	10820	12290	13798	15306	16833	17606
17	Новомосковское	ЗБ; Д, Г	—	$I_г^\circ$	746	1513	3111	4799	6569	8414	10295	12206	14163	16153	18171	20211	22257	23272
				$I_в^\circ$	627	1260	2562	3923	5342	6806	8290	9813	11356	12859	14482	16065	17667	18478
18	Привольнянское	Д	—	$I_г^\circ$	798	1619	3327	5131	7032	8992	10999	13035	15120	17239	19387	21558	23735	24814
				$I_в^\circ$	693	1392	2830	4334	5901	7519	9158	10841	12546	14251	15999	17748	19518	20414
19	Северо-Александровские 1-2	Д, Г		$I_г^\circ$	762	1546	3179	4903	6711	8594	10512	12458	14452	16477	18531	20607	22687	23720
				$I_в^\circ$	658	1323	2689	4118	5607	7143	8701	10300	11919	13539	15200	16862	18544	19395
20	Успеновские 1-4	Д, Г		$I_г^\circ$	765	1551	3188	4917	6729	8618	10541	12492	14491	16522	18581	20663	22748	23783
				$I_в^\circ$	662	1329	2702	4138	5634	7179	8744	10350	11978	13606	15275	16945	18635	19491
21	Новосветловское	Г		$I_г^\circ$	831	1684	3462	5339	7306	9355	11442	13558	15726	17928	20160	22417	24678	25799
				$I_в^\circ$	727	1462	2971	4550	6195	7893	9614	11380	13170	14960	16795	18631	20489	21430
22	Светлановский	Г		$I_г^\circ$	778	1578	3243	5002	6844	8763	10717	12699	14728	16790	18879	20992	23109	24158
				$I_в^\circ$	682	1375	2796	4282	5830	7428	9048	10710	12394	14079	15800	17534	19283	20168

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
23	Чапаевский рудник	Г	—	$I_г^0$	852	1728	3552	5478	7496	9598	11738	13908	16131	18389	20879	22993	25312	26461
				$I_в^0$	749	1505	3060	4686	6381	8130	9902	11722	13565	15409	17299	19190	21104	22073
24	Углегорский Восточный	Т, А	—	$I_г^0$	925	1876	3858	5950	8140	10420	12739	15088	17491	19931	22402	24901	27402	28640
				$I_в^0$	839	1686	3428	5250	7148	9107	11092	13131	15195	17260	19378	21496	23640	24726
25	Ольховатский	А	—	$I_г^0$	922	1871	3848	5936	8120	10394	12706	15047	17442	19873	22335	24825	27315	28548
				$I_в^0$	841	1689	3435	5259	7161	9124	11113	13155	15224	17293	19415	21536	23685	24772
26	Володарский рудник	А	—	$I_г^0$	916	1859	3826	5904	8078	10339	12638	14964	17342	19756	22200	24673	27141	28364
				$I_в^0$	840	1687	3430	5252	7151	9111	11097	13137	15203	17269	19387	21506	23652	24737
27	Мусский 1-2	А	—	$I_г^0$	909	1843	3791	5849	8002	10243	12522	14830	17190	19586	22013	24468	26922	28138
				$I_в^0$	827	1661	3371	5171	7041	8970	10926	12934	14968	17002	19088	21174	23287	24356
28	Кузнецкий бассейн	Д	Р, СШ	$I_г^0$	877	1779	3658	5642	7720	9886	12092	14329	16620	18948	21307	23694	26084	27269
				$I_в^0$	764	1536	3122	4780	6509	8292	10100	11957	13837	15717	17646	19574	21527	22515
29	Кузнецкий бассейн	Г	Р, МСШ, СШ	$I_г^0$	934	1895	3894	6006	8218	10522	12868	15246	17682	20156	22664	25200	27740	28999
				$I_в^0$	824	1655	3365	5153	7016	8938	10887	12888	14915	16942	19020	21099	23204	24269
30	Кузнецкий бассейн	Г	промпродукт	$I_г^0$	745	1511	3106	4789	6554	8393	10266	12166	14113	16091	18096	20124	22156	23164
				$I_в^0$	646	1298	2639	4041	5502	7010	8539	10108	11697	13287	14917	16547	18198	19033
31	Кузнецкий бассейн	Г	шлам	$I_г^0$	872	1768	3635	5606	7672	9827	12021	14249	16532	18852	21205	23584	25968	27151
				$I_в^0$	745	1496	3042	4659	6343	8081	9843	11652	13485	15317	17196	19076	20979	21942
32	Кузнецкий бассейн	1СС	Р, СШ	$I_г^0$	922	1869	3843	5928	8111	10384	12699	15044	17446	19885	22358	24858	27360	28601
				$I_в^0$	817	1642	3338	5111	6959	8866	10799	12784	14794	16805	18867	20928	23016	24073
33	Кузнецкий бассейн	2СС	Р, СШ	$I_г^0$	992	2013	4137	6381	8730	11177	13666	16189	18771	21393	24050	26737	29427	30760
				$I_в^0$	888	1785	3628	5556	7565	9638	11739	13896	16082	18267	20508	22750	25019	26168

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура , °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
34	Кузнецкий бассейн	Т	Р, СШ	$I_г^o$	1022	2074	4264	6578	8999	11520	14085	16682	19340	22038	24772	27537	30303	31673
				$I_в^o$	923	1854	3770	5772	7859	10013	12197	14438	16709	18979	21308	23636	25994	27188
35	Кузнецкий бассейн	Ж	промпродукт	$I_г^o$	709	1437	2952	4558	6229	7976	9753	11555	13400	15275	17174	19095	21019	21973
				$I_в^o$	628	1262	2566	3930	5351	6817	8303	9829	11375	12921	14506	16092	17697	18509
36	Кузнецкий бассейн	К	промпродукт	$I_г^o$	753	1527	3138	4840	6623	8480	10369	12285	14246	16237	18256	20297	22340	23353
				$I_в^o$	668	1342	2729	4178	5689	7248	8829	10451	12095	13738	15424	17109	18816	19680
37	Кузнецкий бассейн	А	Р	$I_г^o$	945	1917	3944	6086	8327	10660	13031	15432	17888	20381	22906	25459	28012	29276
				$I_в^o$	856	1720	3497	5356	7292	9290	11316	13396	15502	17609	19769	21930	24117	25225
38	Углеразрезы Кузнецкого б-на	Д	РОК I	$I_г^o$	746	1513	3112	4800	6571	8417	10296	12205	14160	16147	18161	20198	22240	23253
				$I_в^o$	633	1273	2587	3962	5395	6873	8372	9910	11469	13027	14626	16224	17843	18662
39	Углеразрезы	Г	РОК I	$I_г^o$	827	1676	3446	5316	7275	9316	11395	13505	15665	17860	20086	22336	24590	25708
				$I_в^o$	715	1436	2920	4471	6087	7756	9447	11183	12942	14700	16504	18308	20134	21058
40	Углеразрезы	Г	РОК II	$I_г^o$	678	1376	2830	4367	5979	7658	9369	11107	12887	14696	16530	18385	20244	21167
				$I_в^o$	571	1146	2331	3569	4859	6191	7541	8927	10330	11734	13174	14614	16072	16810
41	Углеразрезы	1СС	РОК I	$I_г^o$	918	1862	3828	5906	8081	10347	12653	14991	17384	19815	22278	24770	27263	28500
				$I_в^o$	810	1629	3311	5070	6903	8795	10712	12681	14675	16669	18714	20760	22831	23879
42	Углеразрезы Кузнецкого б-на	1СС	РОК II	$I_г^o$	698	1416	2915	4498	6159	7889	9651	11441	13273	15135	17022	18930	20842	21791
				$I_в^o$	587	1180	2399	3674	5002	6373	7763	9189	10635	12080	13562	15044	16545	17304
43	Углеразрезы	2СС	РОК I	$I_г^o$	877	1779	3659	5644	7723	9888	12092	14325	16612	18935	21288	23668	26050	27231
				$I_в^o$	775	1558	3168	4851	6605	8415	10250	12133	14041	15949	17906	19863	21845	22848
44	Углеразрезы	2СС	РОК II	$I_г^o$	687	1395	2870	4429	6063	7766	9499	11259	13061	14892	16748	18624	20503	21436
				$I_в^o$	584	1174	2386	3654	4975	6338	7720	9139	10576	12013	13487	14961	16454	17209

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
45	Углеразрезы	Т	РОК I	$I_г^o$	870	1764	3629	5600	7662	9810	11994	14208	16470	18769	21097	23452	25807	26974
				$I_в^o$	779	1565	3182	4872	6634	8452	10295	12187	14103	16020	17985	19951	21941	22948
46	Углеразрезы	Т	РОК II	$I_г^o$	746	1513	3114	4806	6578	8423	10300	12204	14152	16130	18134	20161	22189	23195
				$I_в^o$	652	1310	2663	4078	5553	7075	8617	10201	11805	13409	15055	16700	18366	19209
47	Талдинский разрез	Г	РОК II	$I_г^o$	629	1275	2623	4048	5542	7101	8689	10303	11958	13639	15344	17069	18798	19657
				$I_в^o$	518	1041	2116	3241	4412	5622	6847	8106	9381	10655	11963	13270	14594	15264
48	Карагандинский бассейн	К	Р, отсев	$I_г^o$	720	1460	3001	4629	6334	8111	9919	11752	13629	15536	17469	19424	21381	22352
				$I_в^o$	634	1275	2591	3968	5403	6883	8384	9925	11485	13046	14647	16248	17869	18689
49	Карагандинский бассейн	К	концентрат	$I_г^o$	913	1851	3805	5868	8029	10280	12571	14894	17272	19688	22136	24612	27090	28319
				$I_в^o$	810	1627	3307	5064	6895	8785	10700	12668	14658	16650	18693	20736	22804	23851
50	Карагандинский бассейн	К	промпродукт	$I_г^o$	650	1317	2708	4177	5716	7319	8952	10608	12304	14027	15773	17539	19308	20185
				$I_в^o$	568	1141	2320	3553	4836	6162	7505	8885	10282	11679	13112	14545	15996	16730
51	Карагандинский бассейн	К	шлам	$I_г^o$	708	1436	2952	4553	6231	7980	9762	11569	13421	15302	17210	19139	21072	22031
				$I_в^o$	612	1229	2499	3827	5210	6638	8086	9572	11077	12582	14126	15670	17233	18024
52	Куучекинское	2К	Р	$I_г^o$	682	1383	2844	4386	6000	7683	9395	11131	12909	14714	16544	18395	20247	21166
				$I_в^o$	605	1215	2470	3783	5150	6562	7992	9461	10949	12437	13963	15489	17034	17816
53	Борлинское	2К	Р	$I_г^o$	647	1312	2696	4159	5691	7287	8912	10559	12247	13961	15698	17455	19215	20087
				$I_в^o$	568	1142	2321	3555	4840	6167	7511	8891	10290	11688	13122	14556	16008	16743
54	Экибастуз, 1-я гр. Зольности	СС	Р	$I_г^o$	687	1394	2865	4419	6047	7743	9469	11220	13012	14833	16673	18544	20413	21340
				$I_в^o$	605	1216	2471	3784	5152	6565	7996	9465	10954	12442	13969	15496	17041	17824
55	Экибастуз, 2-я гр. Зольности	СС	Р	$I_г^o$	592	1200	2466	3804	5205	6665	8151	9658	11201	12768	14357	15964	17573	18370
				$I_в^o$	520	1045	2125	3254	4431	5645	6876	8139	9419	10699	12012	13325	14654	15327

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
56	Кушмурунское	2Б	Р	$I_г^\circ$	581	1177	2421	3736	5117	6559	8031	9530	11068	12632	14220	15825	17438	18241
				$I_в^\circ$	452	908	1846	2827	3850	4905	5974	7072	8183	9296	10437	11577	12732	13317
57	Приозерное	2Б	Р	$I_г^\circ$	579	1175	2416	3728	5108	6547	8015	9511	11046	12607	14191	15793	17402	18202
				$I_в^\circ$	451	907	1844	2824	3845	4898	5966	7063	8173	9284	10423	11562	12716	13300
58	Орловское	2Б	Р	$I_г^\circ$	532	1080	2221	3427	4895	6019	7369	8745	10156	11591	13048	14521	16000	16736
				$I_в^\circ$	413	829	1686	2581	3515	4478	5455	6457	7472	8488	9529	10571	11625	12159
59	Шоптыкольское	3Б	Р	$I_г^\circ$	652	1322	2719	4195	5743	7356	9000	10671	12382	14121	15885	17669	19457	20344
				$I_в^\circ$	547	1099	2234	3421	4658	5934	7228	8556	9902	11248	12628	14008	15405	16112
60	Сарыкольское[1)]	3Б	—	$I_г^\circ$	637	1292	2656	4098	5610	7188	8795	10429	12104	13806	15532	17278	19029	19899
				$I_в^\circ$	527	1060	2155	3299	4492	5724	6972	8253	9551	10848	12179	13511	14858	15540
61	Подмосковный бассейн	2Б	Р, ОМСШ	$I_г^\circ$	433	878	1806	2787	3819	4896	5996	7117	8267	9438	10627	11829	13038	13639
	в целом[2)]			$I_в^\circ$	328	660	1341	2054	2797	3563	4340	5138	5946	6754	7582	8411	9250	9675
62	в том числе, высокозольный	2Б	Р, ОМСШ	$I_г^\circ$	419	850	1748	2697	3695	4737	5802	6888	8002	9136	10288	11452	12622	13205
				$I_в^\circ$	316	634	1289	1974	2687	3424	4170	4937	5713	6489	7286	8082	8888	9296
63	Интинское	Д	Р, отсев	$I_г^\circ$	689	1398	2874	4434	6068	7770	9504	11263	3064	14895	16750	18626	20505	21437
				$I_в^\circ$	597	1199	2437	3732	5081	6474	7885	9334	10802	12270	13776	15281	16805	17577
64	Воркутинское	Ж	Р, отсев	$I_г^\circ$	814	1651	3394	5235	7162	9170	11214	13286	15407	17562	19745	21953	24164	25260
				$I_в^\circ$	723	1452	2952	4520	6154	7841	9550	11306	13083	14861	16685	18508	20355	21289
65	Днепровский бассейн	1Б	Р	$I_г^\circ$	409	830	1706	2632	3609	4632	5679	6751	7853	8976	10119	11274	12438	13020
				$I_в^\circ$	271	545	1108	1697	2311	2944	3586	4245	4913	5580	6265	6950	7643	7994
66	Волынское	Г	Р, отсев	$I_г^\circ$	784	1589	3267	5039	6895	8829	10798	12795	14840	16916	19022	21151	23283	24340
				$I_в^\circ$	689	1384	2813	4308	5865	7473	9102	10775	12469	14164	15902	17640	19399	20290

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
67	Межреченское	ГЖ	Р	$I_г^o$	773	1567	3220	4966	6795	8700	10639	12605	14619	16664	18737	20834	22933	23974
				$I_в^o$	684	1375	2794	4279	5826	7423	9042	10703	12386	14070	15796	17522	19270	20155
68	Кизеловский бассейн	Ж	Р	$I_г^o$	789	1600	3289	5072	6939	8885	10865	12872	14927	17015	19131	21271	23413	24476
				$I_в^o$	702	1411	2869	4393	5982	7621	9283	10989	12717	14445	16217	17990	19784	20692
69	Кизеловский бассейн	Г	Р, МСШ,	$I_г^o$	681	1381	2837	4375	5987	7666	9375	11109	12885	14689	16518	18367	20219	21138
			промпродукт	$I_в^o$	599	1203	2446	3745	5099	6497	7913	9368	10841	12314	13825	15336	16865	17640
70	Кизеловский бассейн	Г	промпродукт,	$I_г^o$	569	1154	2373	3659	5009	6416	7849	9306	10798	12315	13854	15410	16970	17744
			шлам	$I_в^o$	481	967	1966	3010	4098	5221	6360	7528	8712	9896	11110	12325	13554	14176
71	Челябинский бассейн	3Б	Р, отсев	$I_г^o$	537	1088	2238	3453	4727	6056	7410	8786	10196	11630	13084	14554	16028	16760
				$I_в^o$	446	896	1822	2789	3798	4839	5894	6977	8074	9172	10297	11422	12562	13139
72	Волчанское и Богословское	3Б	Р	$I_г^o$	437	887	1826	2818	3860	4947	6056	7186	8343	9521	10716	11924	13137	13741
				$I_в^o$	344	690	1403	2149	2926	3728	4541	5375	6220	7066	7933	8800	8677	10122
73	Бабаевское	1Б	Р	$I_г^o$	468	948	1949	3007	4123	5290	6485	7707	8963	10243	11545	12861	14187	14848
				$I_в^o$	318	640	1301	1992	2712	3456	4209	4982	5766	6549	7353	8157	8970	9382
74	Тульганское	1Б	Р	$I_г^o$	441	895	1840	2840	3894	4996	6124	7278	8465	9674	10903	12146	13398	14023
				$I_в^o$	300	602	1224	1874	2551	3251	3959	4687	5424	6161	6917	7673	8439	8826
75	Ткибульское	Д	МСШ	$I_г^o$	608	1234	2536	3911	5354	6857	8389	9945	11539	13159	14802	16463	18128	18955
				$I_в^o$	517	1039	2112	3233	4402	5609	6832	8087	9359	10631	11935	13240	14561	15229
76	Ткибульское	Г	Р, шлам,	$I_г^o$	727	1475	3031	4675	6398	8194	10024	11881	13784	15718	17680	19663	21650	22637
			промпродукт	$I_в^o$	623	1252	2544	3896	5305	6759	8232	9745	11278	12810	14382	15954	17545	18351
77	Ткварчельское	Ж	промпродукт	$I_г^o$	685	1390	2856	4405	6028	7719	9442	11190	12980	14799	16644	18509	20378	21305
				$I_в^o$	595	1196	2431	3722	5068	6457	7865	9310	10774	12238	13740	15241	16762	17531

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
78	Ангренское	2Б	ОМСШ	$I_г^o$	616	1251	2573	3970	5438	6969	8529	10117	11744	13399	15078	16775	18478	19324
				$I_в^o$	496	997	2026	3102	4224	5381	6555	7759	8980	10200	11451	12703	13970	14611
79	Шаргуньское	СС	СШ	$I_г^o$	960	1947	4004	6176	8450	10818	13227	15669	18167	20705	23275	25875	28477	29766
				$I_в^o$	860	1728	3513	5379	7324	9331	11365	13454	15570	17685	19855	22025	24222	25334
80	Кок-Янгак	Д	СШ	$I_г^o$	847	1719	3534	5452	7461	9553	11683	13843	16054	18300	20577	22879	25184	26327
				$I_в^o$	744	1496	3040	4656	6339	8076	9837	11645	13476	15308	17186	19064	20966	21929
81	Таш-Кумыр	Д	СШ	$I_г^o$	686	1391	2860	4413	6040	7736	9463	11217	13012	14837	16687	18557	20431	21361
				$I_в^o$	587	1179	2397	3670	4997	6367	7755	9180	10623	12067	13548	15028	16527	17286
82	Сулюктинское	3Б	СШ	$I_г^o$	718	1456	2995	4622	6327	8105	9915	11754	13637	15550	17490	19452	21417	22393
				$I_в^o$	607	1219	2478	3794	5166	6582	8017	9490	10983	12475	14006	15537	17087	17871
83	Кызыл-Кия	3Б	СШ	$I_г^o$	702	1425	2931	4523	6193	7934	9707	11510	13357	15234	17138	19063	20992	21951
				$I_в^o$	583	1172	2383	3650	4969	6331	7711	9128	10564	11999	13472	14944	16435	17189
84	Кара-Киче[1)]	3Б	—	$I_г^o$	822	1668	3430	5293	7246	9280	11352	13455	15609	17797	20015	22258	24505	25620
				$I_в^o$	702	1411	2869	4393	5982	7621	9283	10989	12717	14445	16217	17989	19784	20692
85	Шураб 1/2	3Б	Р	$I_г^o$	602	1222	2515	3881	5314	6808	8329	9873	11455	13063	14693	16341	17992	18812
				$I_в^o$	505	1016	2065	3161	4304	5484	6680	7907	9151	10394	11670	12945	14237	14890
86	Шураб 8	3Б	СШ	$I_г^o$	641	1300	2676	4130	5655	7244	8864	10510	12196	13909	15646	17403	19164	20038
				$I_в^o$	531	1068	2171	3324	4526	5766	7023	8314	9621	10929	12270	13611	14968	15656
87	Ирша-Бородинское	2Б	Р	$I_г^o$	686	1391	2861	4414	6045	7746	9482	11247	13057	14898	16765	18654	20549	21491
				$I_в^o$	551	1107	2250	3445	4690	5976	7279	8617	9972	11327	12716	14106	15513	16226
88	Назаровское	2Б	Р	$I_г^o$	610	1238	2546	3928	5382	6898	8446	10023	11640	13285	14955	16643	18338	19182
				$I_в^o$	473	951	1934	2961	4032	5137	6257	7407	8571	9736	10931	12126	13335	13947

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
89	Березовское	2Б	Р	$I_г^\circ$	706	1432	2945	4544	6224	7975	9761	11579	13442	15336	17259	19202	21152	22122
				$I_в^\circ$	568	1141	2320	3552	4836	6161	7505	8884	10281	11678	13111	14544	15995	16729
90	Боготольское[1)]	1Б	—	$I_г^\circ$	581	1178	2425	3745	5129	6573	8054	9555	11104	12681	14272	15881	17504	18318
				$I_в^\circ$	439	884	1793	2746	3736	4758	5804	6869	7952	9040	10145	11257	12376	12938
91	Абанское[1)]	2Б	—	$I_г^\circ$	670	1357	2794	4314	5906	7565	9265	10984	12757	14561	16380	18217	20071	20999
				$I_в^\circ$	535	1077	2187	3349	4555	5802	7077	8377	9696	11023	12371	13727	15091	15777
92	Барандатское[1)]	2Б	—	$I_г^\circ$	680	1377	2836	4379	5995	7680	9407	11153	12954	14788	16636	18504	20388	21332
				$I_в^\circ$	539	1084	2201	3370	4584	5839	7122	8430	9757	11093	12450	13814	15186	15877
93	Итатское[1)]	1Б	—	$I_г^\circ$	609	1234	2541	3923	5373	6885	8435	10004	11624	13272	14935	16616	18312	19161
				$I_в^\circ$	469	943	1915	2933	3989	5081	6197	7335	8490	9653	10833	12020	13214	13815
94	Большесырское[1)]	3Б	—	$I_г^\circ$	808	1637	3370	5202	7120	9117	11160	13223	15350	17513	19693	21894	24113	25224
				$I_в^\circ$	676	1361	2763	4231	5755	7330	8941	10582	12249	13926	15628	17341	19065	19930
95	Черногорское	Д	Р, МСШ, СШ	$I_г^\circ$	767	1555	3200	4938	6758	8650	10586	12537	14550	16595	18655	20735	22830	23879
				$I_в^\circ$	662	1331	2703	4139	5630	7171	8746	10352	11983	13623	15289	16964	18649	19497
96	Черемховское и Забитуйское	Д	Р, МСШ	$I_г^\circ$	676	1371	2821	4353	5957	7625	9333	11055	12831	14637	16456	18292	20143	21070
				$I_в^\circ$	579	1164	2363	3619	4922	6270	7647	9051	10477	11912	13368	14833	16306	17048
97	Азейское	3Б	Р	$I_г^\circ$	685	1388	2857	4409	6035	7729	9463	11214	13020	14857	16709	18578	20464	21408
				$I_в^\circ$	565	1137	2308	3534	4807	6123	7468	8839	10232	11633	13055	14485	15925	16648
98	Мугунское[1)]	3Б	—	$I_г^\circ$	746	1511	3110	4800	6569	8411	10297	12200	14164	16161	18173	20205	22253	23279
				$I_в^\circ$	625	1257	2551	3907	5314	6769	8256	9772	11311	12860	14432	16014	17605	18405
99	Каахемское	Г	Р	$I_г^\circ$	1009	2045	4208	6492	8881	11366	13905	16463	19100	21781	24479	27203	29946	31320
				$I_в^\circ$	895	1802	3657	5600	7618	9703	11835	14008	16214	18434	20688	22955	25236	26383

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
100	Гусиноозерское (Холбольдж)	3Б	Р	$I_г^\circ$	627	1272	2619	4042	5534	7088	8679	10287	11945	13632	15333	17050	18782	19650
				$I_в^\circ$	511	1028	2086	3194	4345	5534	6750	7989	9248	10514	11799	13092	14393	15047
101	Никольское[1)]	Д, ДГ	Р	$I_г^\circ$	892	1808	3721	5742	7856	10054	12301	14565	16899	19271	21658	24068	26496	27711
				$I_в^\circ$	787	1584	3216	4924	6698	8532	10407	12317	14257	16209	18191	20184	22190	23198
102	Олонь-Шибирское	Д, ДГ	Р	$I_г^\circ$	890	1803	3711	5727	7836	10029	12271	14530	16859	19227	21610	24015	26483	27652
				$I_в^\circ$	781	1571	3189	4883	6642	8460	10319	12213	14137	16073	18038	20014	22003	23003
103	Букачачинское	Г	Р	$I_г^\circ$	979	1983	4082	6297	8616	11027	13491	15973	18533	21135	23753	26397	29058	30393
				$I_в^\circ$	865	1740	3532	5408	7357	9370	11429	13527	15658	17802	19978	22168	24370	25478
104	Татауровское	2Б	Р	$I_г^\circ$	664	1345	2770	4276	5855	7499	9184	10887	12644	14432	16234	18055	19891	20811
				$I_в^\circ$	533	1073	2179	3336	4538	6780	7050	8344	9659	10981	12324	13674	15033	15716
105	Харанорское	1Б	Р	$I_г^\circ$	559	1133	2334	3604	4935	6324	7748	9190	10678	12193	13722	15266	16825	17606
				$I_в^\circ$	428	862	1750	2679	3645	4642	5662	6702	7757	8819	9898	10982	12073	12622
106	Тарбагатайское	3Б	Р	$I_г^\circ$	701	1420	2922	4509	6171	7903	9677	11469	13318	15199	17095	19010	20942	21909
				$I_в^\circ$	575	1158	2350	3599	4895	6235	7605	9001	10419	11845	13293	14750	16215	16952
107	Арбагарское	3Б	Р	$I_г^\circ$	621	1258	2590	3998	5473	7010	8585	10176	11818	13488	15171	16872	18587	19446
				$I_в^\circ$	501	1008	2046	3133	4261	5427	6620	7835	9069	10311	11571	12839	14115	14757
108	Уртуйское[1)]	3Б	Р	$I_г^\circ$	741	1502	3093	4774	6535	8368	10245	12141	14096	16085	18090	20114	22155	23177
				$I_в^\circ$	611	1230	2498	3825	5203	6626	8083	9566	11073	12589	14128	15677	17234	18018
109	Артемовское	3Б	Р, СШ	$I_г^\circ$	487	986	2030	3134	4291	5497	6733	7982	9272	10584	11907	13244	14592	15268
				$I_в^\circ$	387	779	1581	2421	3293	4194	5116	6055	7008	7968	8942	9922	10908	11404
110	Партизанский бассейн	Г	Р, СШ	$I_г^\circ$	759	1538	3165	4884	6682	8551	10461	12385	14389	16385	18413	20461	22524	23556
				$I_в^\circ$	674	1356	2753	4215	5734	7303	8908	10544	12204	13875	15571	17278	18995	19858

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
111	Партизанский бассейн	Ж	Р	$I_г^\circ$	798	1618	3330	5138	7030	8996	11004	13027	15113	17233	19365	21518	23686	24772
				$I_в^\circ$	712	1433	2909	4454	6059	7717	9413	11141	12896	14661	16454	18257	20071	20983
112	Партизанский бассейн	Т	Р	$I_г^\circ$	858	1739	3580	5524	7558	9671	11828	14000	16238	18512	20800	23108	25432	26596
				$I_в^\circ$	774	1557	3161	4841	6585	8388	10231	12109	14017	15936	17884	19844	21815	22807
113	Партизанский бассейн	Ж	концентрат	$I_г^\circ$	931	1886	3881	5989	8193	10484	12825	15183	17613	20083	22568	25077	27603	28868
				$I_в^\circ$	831	1673	3395	5200	7073	9009	10988	13006	15054	17115	19208	21313	23430	24495
114	Партизанский бассейн	Ж, Т	промпродукт	$I_г^\circ$	689	1396	2873	4433	6066	7763	9498	11246	13047	14879	16722	18582	20456	21394
				$I_в^\circ$	608	1223	2483	3803	5173	6589	8036	9512	11010	12517	14848	15587	17136	17915
115	Партизанский бассейн	Т	концентрат	$I_г^\circ$	976	1979	4075	6288	8603	11008	13463	15935	18482	21071	23674	26301	28946	30271
				$I_в^\circ$	882	1775	3604	5519	7507	9562	11663	13804	15978	18166	20386	22621	24868	25998
116	Ургальское	Г	Р	$I_г^\circ$	731	1481	3049	4704	6437	8239	10081	11938	13854	15801	17761	19741	21735	22733
				$I_в^\circ$	637	1282	2602	3985	5420	6903	8420	9966	11536	13115	14719	16332	17954	18771
117	Райчихинское	2Б	Р, МСШ	$I_г^\circ$	563	1142	2352	3631	4973	6372	7805	9256	10753	12277	13814	15367	16934	17718
				$I_в^\circ$	437	879	1785	2733	3718	4735	5776	6836	7913	8996	10096	11202	12315	12875
118	Райчихинское	2Б	Р, окислен.	$I_г^\circ$	471	956	1969	3042	4168	5343	6551	7776	9040	10328	11629	12944	14272	14937
				$I_в^\circ$	337	678	1376	2107	2865	3650	4452	5269	6099	6934	7782	8634	9492	9924
119	Липовецкое	Д	Р, СШ	$I_г^\circ$	651	1319	2714	4188	5730	7335	8975	10629	12335	14069	15815	17578	19354	20244
				$I_в^\circ$	565	1136	2306	3532	4804	6119	7464	8834	10226	11626	13047	14477	15915	16639
120	Реттиховское	1Б	Р, СШ	$I_г^\circ$	452	916	1887	2913	3990	5114	6268	7438	8645	9874	11150	12370	13637	14271
				$I_в^\circ$	336	675	1371	2099	2856	3637	4436	5251	6078	6910	7755	8605	9460	9890
121	Павловское	1Б	Р, СШ	$I_г^\circ$	469	950	1957	3021	4138	5305	6503	7719	8974	10252	11544	12849	14168	14829
				$I_в^\circ$	341	686	1392	2131	2899	3693	4504	5331	6171	7016	7873	8736	9604	10041

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура , °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
122	Бикинское	1Б	Р	$I_г^\circ$	429	869	1790	2765	3788	4856	5954	7067	8217	9388	10572	11768	12977	13582
				$I_в^\circ$	307	618	1255	1923	2615	3331	4063	4809	5566	6328	7102	7880	8663	9057
123	Ерковецкое[1)]	2Б	Р	$I_г^\circ$	560	1135	2339	3612	4947	6339	7766	9210	10700	12216	13746	15291	16851	17632
				$I_в^\circ$	432	870	1766	2705	3679	4686	5716	6765	7830	8902	9991	11086	12187	12741
124	Лианское[1)]	2Б	Р	$I_г^\circ$	545	1103	2272	3508	4805	6157	7545	8951	10401	11879	13370	14877	16398	17160
				$I_в^\circ$	412	829	1683	2577	3505	4464	5445	6445	7460	8481	9518	10561	11610	12138
125	Раковское[1)]	1Б	Р	$I_г^\circ$	511	1036	2133	3294	4512	5783	7088	8411	9777	11168	12573	13993	15427	16145
				$I_в^\circ$	378	760	1542	2362	3213	4092	4991	5908	6838	7775	8725	9681	10643	11127
126	Свободное[1)]	1Б	Р	$I_г^\circ$	499	1010	2080	3213	4402	5644	6921	8219	9558	10923	12303	13698	15108	15814
				$I_в^\circ$	349	703	1426	2184	2971	3784	4615	5462	6323	7189	8067	8952	9841	10288
127	Джебарики-Хая	Д	Р	$I_г^\circ$	898	1820	3746	5780	7909	10123	12387	14669	17022	19414	21822	24253	26702	27928
				$I_в^\circ$	782	1574	3196	4894	6657	8479	10342	12241	14169	16109	18079	20060	22053	23055
128	Сангарское	Д,Г	Р	$I_г^\circ$	910	1844	3795	5856	8012	10255	12548	14859	17242	19664	22103	24565	27045	28287
				$I_в^\circ$	797	1603	3253	4982	6777	8632	10529	12462	14425	16399	18404	20421	22450	23471
129	Чульмаканское	Ж	Р	$I_г^\circ$	921	1866	3839	5923	8103	10370	12687	15020	17427	19873	22335	24820	27323	28577
				$I_в^\circ$	818	1645	3340	5115	6958	8862	10810	12794	14809	16837	18895	20966	23049	24097
130	Нерюнгринское	ЗСС	Р	$I_г^\circ$	890	1804	3713	5730	7840	10033	12274	14531	16857	19222	21601	24002	26420	27631
				$I_в^\circ$	790	1589	3226	4940	6720	8560	10440	12357	14304	16262	18250	20250	22262	23274
131	Нерюнгринское	К	промпродукт	$I_г^\circ$	862	1747	3596	5548	7591	9714	11883	14068	16320	18608	20911	23234	25575	26747
				$I_в^\circ$	769	1547	3141	4810	6543	8334	10166	12032	13927	15834	17769	19717	21676	22661
132	Харанга	Т	Р	$I_г^\circ$	1016	2059	4237	6538	8945	11446	14002	16576	19229	21926	24639	27377	30135	31516
				$I_в^\circ$	907	1824	3703	5670	7713	9824	11983	14183	16417	18665	20946	23242	25551	26712

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
133	Галимовское	А	Р	$I_г^\circ$	886	1796	3700	5711	7814	9999	12228	14472	16784	19132	21494	23877	26275	27476
				$I_в^\circ$	800	1610	3268	5004	6807	8670	10575	12517	14488	16472	18486	20511	22549	23574
134	Аркагалинское (открытые)	Д	Р	$I_г^\circ$	752	1523	3136	4841	6625	8482	10381	12297	14273	16281	18304	20347	22405	23436
				$I_в^\circ$	639	1287	2612	4000	5440	6929	8452	10004	11580	13165	14774	16394	18022	18841
135	Аркагалинское (подземные)	Д	Р, СШ	$I_г^\circ$	805	1631	3358	5183	7093	9080	11113	13163	15277	17426	19590	21776	23978	25080
				$I_в^\circ$	689	1386	2813	4308	5860	7464	9104	10776	12473	14181	15914	17658	19413	20295
136	Кангаласское	3Б-2Б	Р	$I_г^\circ$	680	1379	2839	4383	6000	7685	9411	11155	12954	14784	16629	18493	20372	21313
				$I_в^\circ$	551	1109	2251	3448	4690	5973	7286	8623	9981	11348	12735	14131	15535	16241
137	Анадырское	3Б	Р	$I_г^\circ$	770	1560	3210	4954	6781	8682	10628	12592	14613	16679	18755	20852	22966	24024
				$I_в^\circ$	646	1299	2637	4039	5494	6997	8535	10102	11693	13294	14919	16554	18198	19026
138	Южный Сахалин	3Б	Р, СШ	$I_г^\circ$	633	1282	2640	4074	5577	7141	8742	10358	12026	13722	15431	17156	18897	19768
				$I_в^\circ$	527	1059	2151	3293	4480	5706	6960	8238	9535	10841	12166	13499	14840	15515
139	Южный Сахалин	Д	Р, СШ	$I_г^\circ$	776	1573	3238	4996	6836	8750	10708	12682	14717	16787	18871	20975	23095	34156
				$I_в^\circ$	672	1352	2744	4202	5715	7280	8879	10509	12165	13830	15521	17222	18933	19794
140	Южный Сахалин	Г	Р, СШ	$I_г^\circ$	893	1810	3724	5745	7860	10060	12310	14576	16914	19291	21683	24099	26532	27751
				$I_в^\circ$	783	1575	3197	4897	6660	8483	10348	12247	14176	16117	18088	20070	22064	23067
141	Солнцевское[1)]	3Б	Р	$I_г^\circ$	719	1457	2998	4628	6334	8109	9927	11761	13653	15577	17516	19473	21446	22435
				$I_в^\circ$	604	1215	2467	3778	5139	6545	7984	9449	10938	12435	13955	15485	17023	17797
142	Эстон-сланец	сланец	0...300мм	$I_г^\circ$	385	779	1601	2468	3378	4325	5296	6277	7289	8320	9359	10409	11468	11998
				$I_в^\circ$	320	643	1305	1999	2719	3463	4224	4999	5787	6579	7384	8193	9007	9416
143	Ленинград-сланец	сланец	0...300мм	$I_г^\circ$	333	675	1387	2139	2927	3748	4589	5439	6317	7210	8111	9020	9938	10398
				$I_в^\circ$	276	556	1128	1727	2350	2993	3650	4320	5001	5685	6381	7080	7783	8137

Продолжение таблицы XV

№ п/п	Бассейн, месторождение	Марка	Класс или продукт обогащения	Энтальпия кДж/кг при α=1	Температура, °С													
					100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
144	Кашпирское	сланец	0...300мм	$I_г^\circ$	224	453	932	1438	1968	2522	3090	3666	4260	4866	5477	6095	6718	7021
				$I_в^\circ$	172	345	701	1074	1460	1860	2269	2685	3108	3534	3966	4400	4838	5053
145	Коцебинское и Перелобское[1]	сланец	пласт 1	$I_г^\circ$	343	694	1428	2204	3018	3869	4745	5635	6553	7489	8436	9393	10361	10846
				$I_в^\circ$	243	490	994	1522	2070	2637	3217	3807	4407	5010	5622	6239	6858	7170
146	Болтышское[1]	сланец	—	$I_г^\circ$	303	614	1263	1949	2669	3422	4198	4986	5800	6630	7470	8319	9178	9608
				$I_в^\circ$	211	425	862	1320	1796	2287	2790	3302	3822	4345	4876	5411	5948	6219
147	Росторф	фрезторф	—	$I_г^\circ$	468	947	1951	3013	4129	5296	6497	7717	8976	10260	11559	12873	14200	14866
				$I_в^\circ$	316	636	1291	1977	2689	3425	4178	4945	5724	6508	7303	8104	8909	9314
1	Мазут	40 и 100	Низко-сернистый	$I_г^\circ$	1629	3296	6770	10434	14269	18259	22343	26459	30706	35026	39377	43771	48201	50419
				$I_в^\circ$	1450	2917	5921	9066	12333	15708	19160	22677	26249	29843	33491	37162	40854	42711
2	Мазут	40 и 100	Малосернистый	$I_г^\circ$	1627	3293	6764	10425	14256	18243	22324	26437	30681	34998	39346	43737	48164	50381
				$I_в^\circ$	1447	2912	5911	9052	12313	15683	19129	22641	26207	29795	33438	37102	40788	42642
3	Мазут	40 и 100	Сернистый	$I_г^\circ$	1594	3227	6629	10217	13972	17879	21878	25907	30066	34295	38555	42856	47192	49364
				$I_в^\circ$	1420	2856	5798	8879	12077	15383	18763	22207	25705	29225	32798	36392	40008	41826
4	Мазут	40 и 100	Высокосернистый	$I_г^\circ$	1554	3144	6461	9959	13620	17428	21326	25253	29305	33425	57575	41765	45989	48104
				$I_в^\circ$	1386	2788	5659	8666	11788	15014	18314	21676	25090	28525	32012	35520	39049	40824

[1] Месторождение не разрабатывается.

[2] В том числе Скопинское шахтоуправление с $S_{об}^{daf}$ = 12 %.

1 кДж/кг = 0,239 ккал/кг

ЭНТАЛЬПИИ ВОЗДУХА И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НА 1 м³ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Таблица XVI

№ п/п	Газопровод	Энтальпия кДж/м³ при α=1 и p=101,3 кПа	Температура, °С													
			100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	Природные газы															
1	Уренгой-Надым-Пунга-Ухта	$I_г^\circ$	1461	2950	6047	9309	12725	16287	19947	23641	27458	31347	35272	39239	43244	45250
		$I_в^\circ$	1251	2516	5108	7822	10639	13551	16529	19563	22645	25745	28893	32059	35244	36846
2	Уренгой-Ужгород	$I_г^\circ$	1463	2955	6057	9324	12746	16314	19979	23579	27503	31398	35329	39302	43314	45323
		$I_в^\circ$	1253	2521	5117	7836	10659	13576	16559	19599	22686	25792	28945	32117	35308	36913
3	Уренгой-Новопсков	$I_г^\circ$	1463	2956	6058	9325	12748	16317	19983	23683	27508	31403	35335	39309	43322	45331
		$I_в^\circ$	1253	2521	5118	7837	10660	13578	16562	19602	22690	25797	28950	32123	35315	36920
4	Уренгой-Сургут-Челябинск	$I_г^\circ$	1471	2971	6089	9374	12814	16401	20087	23806	27651	31566	35518	39513	43546	45565
		$I_в^\circ$	1260	253[illegible]	5144	7878	10716	13649	16648	19704	22808	25931	29101	32290	35498	37112
5	Надым-Пунга-Н.Тура-Свердловск-Челябинск	$I_г^\circ$	1463	2956	6058	9326	12749	16317	19984	23685	27509	31405	35337	39311	43324	45333
		$I_в^\circ$	1253	2521	5118	7837	10660	13578	16562	19602	22690	25796	28950	32122	35314	36919
6	Н.Новгород-Иваново-Череповец	$I_г^\circ$	1469	2967	6081	9361	12797	16380	20060	23775	27614	31525	35472	39461	43489	45506
		$I_в^\circ$	1258	2531	5139	7869	10704	13634	16630	19683	22783	25903	29069	32255	35460	37072
7	Бухара-Урал	$I_г^\circ$	1537	3104	6362	9794	13389	17137	20987	24873	28888	32978	37106	41278	45490	47599
		$I_в^\circ$	1317	2651	5381	8240	11208	14276	17413	20609	23856	27122	30438	33773	37129	38816
8	Средняя Азия-Центр	$I_г^\circ$	1507	3044	6240	9607	13184	16810	20587	24399	28339	32351	36400	40493	44626	46695
		$I_в^\circ$	1291	2597	5271	8072	10980	13985	17058	20189	23370	26569	29817	33085	36372	38025
9	Саратов-Москва	$I_г^\circ$	1517	3064	6280	9668	13216	16915	20715	24549	28512	32548	36621	40738	44894	46975
		$I_в^\circ$	1297	2610	5299	8114	11037	14058	17147	20295	23491	26708	29973	33257	36562	38224
10	Мострансгаз (кольцо)	$I_г^\circ$	1490	3010	6169	9497	12982	16616	20350	24118	28012	31979	35982	40028	44113	46159
		$I_в^\circ$	1276	2568	5213	7983	10859	13830	16870	19967	23112	26276	29488	32720	35971	37606
11	Оренбург-Александров Гай	$I_г^\circ$	1507	3045	6241	9608	13134	16810	20586	24396	28334	32344	36391	40482	44611	46679
		$I_в^\circ$	1287	2591	5259	8053	10954	13952	17018	20142	23315	26507	29747	33007	36287	37936

Продолжение таблицы XVI

№ п/п	Газопровод	Энтальпия кДж/м³ при α=1 и p=101,3 кПа	Температура, °С													
			100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	Попутные газы															
12	Каменный Лог-Пермь	$I_г^°$	1740	3516	7210	11102	15176	19421	23779	28173	32713	37335	41997	46709	51463	53844
		$I_в^°$	1480	2978	6046	9259	12594	16041	19566	23158	26806	30476	34201	37950	41720	43616
13	Ярино-Пермь	$I_г^°$	1918	3876	7919	12239	16732	21113	26217	31062	36068	41165	46305	51500	56742	59366
		$I_в^°$	1641	3302	6704	10266	13964	17786	21695	25678	29722	33792	37923	42079	46260	48362
14	Кулешовка-Самара	$I_г^°$	1708	3452	7077	10896	14896	19064	23343	27660	32120	36661	41243	45873	50546	52886
		$I_в^°$	1459	2935	5958	9124	12411	15808	19282	22820	26417	30033	33705	37399	41115	42983
15	Безенчук-Чапаевск	$I_г^°$	1932	3904	8005	12327	16852	21567	26406	31286	36328	41462	46640	51872	57152	59796
		$I_в^°$	1653	3327	6753	10341	14067	17916	21854	25866	29940	34039	38200	42387	46598	48716
16	Барса-Гельмес-Вышка-Небит-Даг	$I_г^°$	1563	3158	6472	9964	13622	17435	21352	25305	29390	33551	37750	41995	46280	48425
		$I_в^°$	1341	2699	5478	8390	11412	14535	17729	20984	24289	27615	30991	34387	37803	39522
17	На входе в г.Краснодар, Крымск,	$I_г^°$	1573	3178	6515	10030	13713	17551	21494	25474	29586	33775	38001	42273	46586	48746
	Новороссийск	$I_в^°$	1349	2713	5508	8435	11474	14614	17825	21098	24421	27764	31159	34573	38008	39736
18	Вознесенская-Грозный, Карабулак-	$I_г^°$	1907	3852	7899	12163	16628	21281	26059	30880	35862	40935	46053	51226	56446	59061
	Грозный	$I_в^°$	1645	3310	6719	10290	13997	17827	21745	25737	29791	33870	38010	42176	46366	48474
19	Тэбук-Сосновка	$I_г^°$	1841	3719	7627	11744	16055	26547	25157	29808	34613	39505	44440	49426	54459	56979
		$I_в^°$	1573	3165	6425	9839	13384	17047	20793	24611	28487	32387	36347	40330	44337	46352
20	Туймазы-Уфа	$I_г^°$	1753	3543	7264	11184	15289	19566	23957	28386	32962	37622	42323	47073	51867	54268
		$I_в^°$	1497	3012	6114	9363	12736	16222	19787	23420	27109	30820	34588	38379	42192	44109
21	Шкапово-Туймазы	$I_г^°$	1117	3065	6283	9672	13222	16920	20717	24545	28502	32530	36594	40700	44845	46920
		$I_в^°$	1280	2576	5229	8008	10893	13875	16924	20030	23185	26360	29582	32824	36085	37726

Продолжение таблицы XVI

№ п/п	Газопровод	Энтальпия кДж/м³ при α=1 и p=101,3 кПа	Температура, °С													
			100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	Попутные газы															
22	Казань-Бугульма-Лениногорск-	$I_г^\circ$	1665	3363	6895	10616	14512	18573	22742	26947	31292	35717	40180	44691	49244	51524
	Альметьевск	$I_в^\circ$	1418	2854	5793	8872	12067	15370	18748	22189	25685	29201	32771	36363	39975	41792
	Промышленные газы															
23	Газ доменных печей	$I_г^\circ$	228	463	956	1479	2025	2593	3171	3753	4352	4959	5570	6186	6805	7115
		$I_в^\circ$	101	203	411	630	857	1092	1332	1576	1824	2074	2328	2583	2839	2969
24	Газ коксовых печей	$I_г^\circ$	679	1370	2807	4321	5908	7564	9269	10992	12773	14589	16424	18279	20154	21093
		$I_в^\circ$	553	1112	2257	3457	4702	5989	7305	8647	10008	11379	12770	14169	15577	16285

ПРИСОСЫ ВОЗДУХА В КОТЛАХ И СИСТЕМАХ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ НА НОМИНАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Таблица XVII

А. Присосы воздуха по газовому тракту котла

Элементы газового тракта котла		Величина присоса $\Delta\alpha$
Топочные камеры пылеугольных и газомазутных котлов	Газоплотные	0.02
	С металлической обшивкой труб экрана	0.05
	С обмуровкой и металлической обшивкой	0.07
	С обмуровкой и без обшивки	0.10
Топочные камеры слоевых топок	Механические и полумеханические	0.10
	Ручные	0.30
Газоходы конвективных поверхностей нагрева	Газоплотный газоход от топки до воздухоподогревателя (величина присоса распределяется равномерно по расположенным в газоходе поверхностям нагрева)	0.02
	Негазоплотные газоходы:	
	Фестон, ширмовый перегреватель	0
	Первый котельный пучок котлов производительностью ≤ 50 кг/с	0.05
	Второй котельный пучок котлов производительностью ≤ 50 кг/с	0.10
	Первичный перегреватель	0.03
	Промежуточный перегреватель	0.03
	Переходная зона прямоточного котла	0.03
	Экономайзер котлов производительностью > 50 кг/с (каждая ступень)	0.02
	Экономайзер котлов производительностью ≤ 50 кг/с	
	стальной	0.08
	чугунный с обшивкой	0.10
	чугунный без обшивки	0.20
	Трубчатые воздухоподогреватели	
	котлов производительностью > 50 кг/с (каждая ступень)	0.03
	котлов производительностью ≤ 50 кг/с (каждая ступень)	0.06
	Регенеративные воздухоподогреватели (вместе «горячая» и «холодная» набивки)	
	котлов производительностью > 50 кг/с	0.15
	котлов производительностью ≤ 50 кг/с	0.20
	Пластинчатые воздухоподогреватели (каждая ступень)	0.10
Золоуловители	Электрофильтры	
	котлов производительностью > 50 кг/с	0.10
	котлов производительностью ≤ 50 кг/с	0.15
	Циклонные и батарейные	0.05
	Скрубберы	0.05
Газоходы за котлом	Стальные (каждые 10 п.м)	0.01
	Кирпичные борова (каждые 10 п.м)	0.05

Продолжение таблицы XVII

Б. Присосы воздуха в системы пылеприготовления

С бункером пыли под разрежением	Среднее значение $\Delta\alpha_{пл}$	С горячим вдуванием пыли в топку			
		при работе под разрежением	среднее значение $\Delta\alpha_{пл}$	при работе под давлением	среднее значение $\Delta\alpha_{пл}$
С шаровыми барабанными мельницами при сушке горячим воздухом	0.10	С молотковыми мельницами	0.04	С молотковыми мельницами	0.00
С шаровыми барабаниыми мельницами при сушке смесью воздуха и дымовых газов	0.12	Со среднеходными мельницами	0.04	Со среднеходными мельницами	0.00
С молотковыми мельницами при сушке смесью воздуха и дымовых газов	0.06	С мельницами-вентиляторами и устройством иисходящей сушки	0.20-0.25[1]		
Со среднеходными мельиицами	0.06				

[1] Верхний предел для высоковлажных топлив

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК С ТВЕРДЫМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ ДЛЯ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ≥ 10 кг/с

Таблица XVIII

№ п/п	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_т$	Тепловое напряжение объема топки по условиям горения q_v, кВт/м³	Тонкость пыли		Потеря тепла от механической неполноты сгорания		Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$
				R_{90}, %	R_{1000}, %	в зоне активного горения $q_{4а.г}$, %	в топке q_4, %	
1	Антрацитовый штыб	1.20 - 1.25 [1]	140	6 - 7	0	15	7 - 8	0.95
2	Тощие угли	1.20 - 1.25 [1]	160	8 - 10	0	10	5	0.95
3	Каменные угли с выходом летучих V^{daf} ≥25%	1.15 - 1.20 [1]	175	20 - 25	0	8	1.0 - 1.5 [2]	0.95
4	Отходы углеобогащения и ОК-II	1.15 - 1.20 [1]	160	20	0	10	2 - 3 [2]	0.95
5	Бурые угли							
	малозольные с $A^r_{пр} \le 1$ кг·%/МДж	1.20 - 1.25 [3]	180	40 - 50	0.8 - 1.0	3 - 4	0.5	0.95
	многозольные с $A^r_{пр} > 1$ кг·%/МДж	1.20 - 1.25 [3]	180	40 - 50	0.8 - 1.0	5	1 - 2 [2]	0.95
	многозольные с теплотой сгорания летучих $Q_{лет} < 20$ МДж/кг	1.20 - 1.25 [3]	180	40 - 50	0.8 - 1.0	10	3 - 4	0.95
6	Фрезерный торф	1.20	160	—	—	—	0.5 - 1.0	0.95
7	Сланцы	1.15 - 1.20 [1]	120	35	0	3	0.5	0.95

[1] Меньшее значение - для топок с газоплотными экранами.

[2] Меньшее значение - для малозольных топлив с $A^r_{пр} \le 1.4$ кг·%/МДж, большее - для топлив повышенной зольности.

[3] Большее значение - при газовой сушке и низкотемпературном сжигании углей.

Примечания:

1. Показатели таблицы по п.п. 1, 2 и 4 не распространяются на котлы производительностью 10 - 20 кг/с, поскольку указанные в этих п.п. угли не должны сжигаться в котлах такой производительности.
2. При производительности котла в диапазоне 100 - 70 % q_4 принимают по таблице;

   при производительности котла, равной 50 % номинальной, q_4 нужно увеличить в 1.5 раза для всех топлив, кроме фрезерного торфа и сланцев.
3. Указанные значения q_4 для АШ и Т даны для нормативного топлива.

   При отклонении качества топлива q_4 определяют соотношением $q_4 = (q_4)_{норм} \cdot A^r_{пр} / (A^r_{пр})_{норм}$.
4. При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом $\alpha_т$ принимают как для твердого топлива;

   q_4 принимают по указаниям п. 5-08.
5. Значение $\alpha_т$ учитывает воздух, поступающий в топку с рециркулирующими газами и сушильным агентом при газовой сушке.
6. Потеря тепла от химической неполноты сгорания в топке котла принимается $q_2 = 0$.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ ДЛЯ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ≥ 45 кг/с

Таблица XIX

№ п/п	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_т$	Тепловое напряжение сечения зоны активного горения q_F, МВт/м²	Тепловое напряжение объема: топки по условиям горения q_V, кВт/м³	Тепловое напряжение объема: камеры сгорания [1] $q_{VK.Г}$, кВт/м³	Тонкость пыли R_{90}, %	Потеря тепла от механической неполноты сгорания: в зоне активного горения $q_{4а.г}$, %	Потеря тепла от механической неполноты сгорания: в топке q_4, %	Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$
1	**Открытые топки**								
1.1	Антрацитовый штыб	1.20 - 1.25 [2]	3.8 - 4.0	145	450 - 500	6 - 7	12	6	0.90
1.2	Тощие угли	1.20 - 1.25 [2]	5.2	185	600 - 700	8 - 10	10	4	0.85
1.3	Каменные угли	1.15 - 1.20 [2]	5.2	185	700 - 800	20 - 25	8	0.5	0.80
1.4	Бурые угли	1.15 - 1.20 [2]	5.2	210	700 - 800	40 - 50	5	0.3	0.65 - 0.80 [3]
2	**Полуоткрытые топки**								
2.1	Антрацитовый штыб	1.20 - 1.25 [2]	4.8 - 5.0	170	600 - 700	6 - 7	12	5	0.90
2.2	Тощие угли	1.20 - 1.25 [2]	5.7	200	600 - 700	8 - 10	10	4	0.85
2.3	Каменные угли	1.15 - 1.20 [2]	5.2	200	700 - 800	20 - 25	8	0.5	0.70 - 0.80
2.4	Бурые угли	1.15 - 1.20 [2]	5.2	230	700 - 800	40 - 50	5	0.3	0.65 - 0.70 [3]

[1] При открытых топках - зоны ошипованного пояса.

[2] Меньшее значение - для топок с газоплотными экранами.

[3] Меньшее значение $a_{ун}$ - для топочных устройств с тангенциальным расположением горелок.

Для Канско-Ачинских углей значение $a_{ун}$ зависит от A^d следующим образом:

A^d	5	6	7	8	10
$a_{ун}$	0.90	0.83	0.75	0.70	0.65

Примечания:

1. В диапазоне 100 - 70 % производительности котла q_4 принимают по таблице.
2. Значения q_4 для АШ и Т даны для нормативного топлива.

   При отклонении качества топлива q_4 определяют соотношением $q_4 = (q_4)_{норм} \; A^r_{пр} / (A^r_{пр})_{норм}$
3. При разомкнутых системах пылеприготовления $\alpha_т = 1.15$;

   при сжигании АШ q_4 снижают на 1 % (без учета потери топлива при сбросе сушильного агента)
4. При сжигании пыли в смеси с газом или мазутом $\alpha_т$ принимают как для твердого топлива;

   q_4 принимают по указаниям п. 5-08.
5. Потеря тепла от химической неполноты сгорания в топке котла принимается $q_3 = 0$

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРНЫХ ТОПОК ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ≥ 45 кг/с

Таблица XX

№ п/п	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_т$	Тепловое напряжение объема топки по условиям горения q_v, кВт/м³	Суммарный недожог $q_3 + q_4$, % при нагрузках котла в процентах от номинальной		
				$D = 100$	$70 \le D < 100$	$D < 70$
1	Мазут	1.02 - 1.03 [1]	200 - 220	0.10 - 0.15 (0.15 - 0.20) [2]	0.15 - 0.20 (0.20 - 0.25) [2]	0.30 - 0.40 (0.40 - 0.50) [2]
2	Природный газ	1.03 - 1.05 [1]	200 - 220	0.05 - 0.07	0.05 - 0.10	0.10 - 0.15

[1] Меньшее значение - для топок с газоплотными экранами.
[2] Значения в скобках - для топок, не оборудованных газоплотными цельносварными экранами.

Примечания:

1. Значения $\alpha_т$ указаны для одноступенчатого подвода воздуха в топку котла (весь воздух подается равномерно через все горелки, неравномерность значений коэффициентов избытка воздуха по горелкам - не более ± 5 %).
   При двухступенчатом подводе воздуха $\alpha_т$ увеличивают на 0.02 - 0.05 (уточняется при наладке).
   Коэффициент избытка воздуха в горелках $\alpha_г = \alpha_т - \Delta\alpha_т$.
2. Для котлов производительностью < 45 кг/с (160 т/ч), величина суммарного недожога $q_3 + q_4$ может быть увеличена в 1.5 - 2 раза.
   При этом должны быть приняты меры для обеспечения надежной работы экранов и перегревателя.
3. Величина суммарного недожога $q_3 + q_4$ при производительности котла менее 70 % номинальной при указанных значениях $\alpha_т$ приведена в качестве контрольной, характеризующей нормальную организацию топочного процесса.
4. В эксплуатации на нагрузках менее 70 % номинальной для обеспечения величины суммарного недожога $q_3 + q_4$ не более 0.1 - 0.5 %
   $\alpha_т$ монотонно увеличивают до 1.05 (при всех работающих горелках).

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЕВЫХ ТОПОК ДЛЯ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ≥ 1 кг/с

Таблица XXI

№ п/п	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_т$	Видимое теплонапряжение: зеркала горения q_F, кВт/м²	Видимое теплонапряжение: объема топки q_V, кВт/м³	Потери тепла: от химической неполноты сгорания q_3, %	Потери тепла: со шлаком $q_{4шл}$, %	Потери тепла: с уносом $q_{4ун}$, %	Потери тепла: суммариая от механического недожога q_4, %	Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$	Давление воздуха под решеткой $p_р$, кгс/м²	Температура дутьевого воздуха $t_в$, °С
1	Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепными решетками обратного хода										
1.1	Каменные угли										
	- типа донецкого, печерского, и др. марок Г, Д, Ж $A^r_{пр} = 5.5$	1.3 - 1.6 [1]	1390 - 1750	290 - 470	до 0.1	2.5	4.5	7.0	15.0	до 50	30
	- типа сучанского марок Г, Д $A^r_{пр} = 6.5$	1.3 - 1.6 [1]	1270 - 1520	290 - 470	до 0.1	3.0	5.0	8.0	15.0	до 50	30
	- кузнецкие марок Г, Д $A^r_{пр} = 2.7$	1.3 - 1.6 [1]	1390 - 1750	290 - 470	до 0.1	1.5	2.0 - 5.0 [2]	4.0 - 7.0 [2]	15.0	до 50	30
	- кузнецкие марок ГСС (выход летучих >20 %) $A^r_{пр} = 2.2$	1.3 - 1.6 [1]	1390 - 1750	290 - 470	до 0.1	3.0	12.0	15.0	35.0	до 50	30
1.2	Бурые угли										
	- типа ирша-бородинского $A^r_{пр} = 1.8$, $W^r_{пр} = 8.9$	1.3 - 1.6 [1]	1390 - 1750	290 - 470	до 0.1	0.5	4.0	4.5	50.0	до 50	до 200
	- типа назаровского $A^r_{пр} = 2.4$, $W^r_{пр} = 12.5$	1.3 - 1.6 [1]	1270 - 1520	290 - 470	до 0.1	1.0	4.0	5.0	50.0	до 50	до 200
	- типа азейского $A^r_{пр} = 4.0$, $W^r_{пр} = 6.5$	1.3 - 1.6 [1]	1390 - 1750	290 - 470	до 0.1	1.5	4.0	5.5	50.0	до 50	до 200
2	Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками										
2.1	Донецкий антрацит марок АС, АМ, АО $A^r_{пр} = 4.0$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	5.0	6.0	11.0	15.0	до 100	30

№ п/п	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_т$	Видимое теплонапряжение: зеркала горения q_F, кВт/м²	Видимое теплонапряжение: объема топки q_V, кВт/м³	Потери тепла: от химической неполноты сгорания q_3, %	Потери тепла: со шлаком $q_{4\,шл}$, %	Потери тепла: с уносом $q_{4\,ун}$, %	Потери тепла: суммарная от механического недожога q_4, %	Доля золы, уносимой газами $a_{ун}$	Давление воздуха под решеткой $p_р$, кгс/м²	Температура дутьевого воздуха $t_в$, °С
2.2	Каменные угли										
	- типа донецкого, печерского, и др. марок Г, Д, Ж										
	$A^r_{пр} = 5.5$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	4.0	4.0	8.0	15.0	до 100	30
	- кузнецкие марок Г, Д										
	$A^r_{пр} = 2.7$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	3.5	3.0	6.5	20.0	до 100	30
	- кузнецкие марок ГСС (выход летучих >20 %)										
	$A^r_{пр} = 2.2$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	4.5	8.0	12.5	20.0	до 100	30
2.3	Бурые угли										
	- типа ирша-бородинского										
	$A^r_{пр} = 1.8$, $W^r_{пр} = 8.9$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	2.0	3.0	5.0	20.0	до 100	до 200
	- типа назаровского										
	$A^r_{пр} = 2.4$, $W^r_{пр} = 12.5$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	—	—	—	20.0	до 100	до 200
	- типа азейского										
	$A^r_{пр} = 4.0$, $W^r_{пр} = 6.5$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	3.0	3.5	6.5	20.0	до 100	до 200
3	Топки с цепной решеткой прямого хода										
3.1	Донецкий антрацит марок АС, АМ, АО										
	$A^r_{пр} = 4.0$	до 1.6	900 - 1200	290 - 470	до 1.0	5.0	5.0	10.0	10.0	до 100	30

[1] Большее значение - для котлов производительностью менее 3 кг/с.
[2] Большее значение - для углей марки Г.

Примечания:

1. Применение топок с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой для вновь проектируемых котельных допускается для котлов производительностью < 1 кг/с при наличии технико-экономического обоснования.
2. Для каменных углей (кроме марок СС) $a_{ун}$ и $q_{4ун}$ пропорциональны содержанию в топливе пылевых частиц. В таблице даны величины $q_{4ун}$ при содержании пылевых частиц размером 0-0.09 мм – 2.5 %.
3. Значения q_4 для топок с пневмомеханическими забрасывателями при сжигании каменных и бурых углей приведены для рядового топлива с максимальным размером куска 40 мм и содержанием мелочи размером 0-6.0 мм до 60 %.
4. При характеристиках топлива, отличных от указанных в таблице, $\alpha_т$ и q_4 оценивают по опытным данным.

СТЕПЕНЬ ВЫГОРАНИЯ ТОПЛИВА β_{cr} ПО ВЫСОТЕ ТОПКИ
(по поданному в топку количеству топлива)

Таблица XXII

№ п/п	Топливо	Относительная высота топки $h_i / H_т$					
		0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.0
1	Антрацитовый штыб и полуантрациты	0.72 - 0.86	0.86 - 0.90	0.92 - 0.95	0.93 - 0.96	0.94 - 0.97	0.96 - 0.97
2	Каменные угли	0.90 - 0.94	0.92 - 0.96	0.95 - 0.97	0.96 - 0.98	0.98 - 0.99	0.98 - 0.995
3	Бурые угли	0.91 - 0.95	0.93 - 0.97	0.96 - 0.98	0.97 - 0.98	0.98 - 0.99	0.99 - 0.995
4	Газ и мазут (при $\alpha_т \approx 1.2$)	—	—	0.94 - 0.96	0.96 - 0.98	0.97 - 0.99	0.995

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ СУХОГО НАСЫЩЕННОГО ПАРА И ВОДЫ НА КРИВОЙ НАСЫЩЕНИЯ

Таблица XXIII

p МПа	t °С	v' м³/кг	v'' м³/кг	i' кДж/кг	i'' кДж/кг	r кДж/кг	p МПа	t °С	v' м³/кг	v'' м³/кг	i' кДж/кг	i'' кДж/кг	r кДж/кг
0.001	6.982	0.0010001	129.208	29.33	2513.8	2484.5	2.60	226.03	0.0012011	0.07685	971.7	2801.2	1829.5
0.002	17.511	0.0010012	67.006	73.45	2533.2	2459.8	2.70	228.06	0.0012050	0.07402	981.2	2801.5	1820.3
0.003	24.098	0.0010027	45.668	101.00	2545.2	2444.2	2.80	230.04	0.0012088	0.07138	990.5	2801.7	1811.2
0.004	28.981	0.0010040	34.803	121.41	2554.1	2432.7	2.90	231.96	0.0012126	0.06892	999.5	2801.8	1802.3
0.005	32.90	0.0010052	28.196	137.77	2561.2	2423.4	3.00	233.84	0.0012163	0.06662	1008.4	2801.9	1793.5
0.006	36.18	0.0010064	23.742	151.50	2567.1	2415.6	3.10	235.66	0.0012200	0.06446	1017.0	2801.9	1784.9
0.007	39.02	0.0010074	20.532	163.38	2572.2	2408.8	3.20	237.44	0.0012237	0.06243	1025.5	2801.8	1776.3
0.008	41.53	0.0010089	18.106	173.87	2576.7	2402.8	3.30	239.18	0.0012273	0.06052	1033.7	2801.7	1768.0
0.009	43.79	0.0010094	16.206	183.28	2580.8	2397.5	3.40	240.88	0.0012310	0.05872	1041.8	2801.5	1759.7
0.010	45.83	0.0010102	14.676	191.84	2584.4	2392.6	3.50	242.54	0.0012345	0.05702	1049.8	2801.3	1751.5
0.012	49.45	0.0010119	12.364	206.94	2590.9	2384.0	3.60	244.16	0.0012381	0.05540	1057.6	2801.0	1743.4
0.014	52.58	0.0010133	10.696	220.03	2596.4	2376.4	3.70	245.75	0.0012416	0.05388	1065.3	2800.7	1735.4
0.016	55.34	0.0010147	9.4348	231.60	2601.3	2369.7	3.80	247.31	0.0012451	0.05243	1072.8	2800.3	1727.5
0.018	57.83	0.0010160	8.4470	242.00	2605.7	2363.7	3.90	248.84	0.0012486	0.05105	1080.2	2799.9	1719.7
0.020	60.09	0.0010172	7.6515	251.46	2609.6	2358.1	4.00	250.33	0.0012521	0.04974	1087.5	2799.4	1711.9
0.022	62.16	0.0010183	6.9967	260.14	2613.2	2353.1	4.10	251.80	0.0012555	0.04849	1094.6	2798.9	1704.3
0.024	64.08	0.0010194	6.4483	268.18	2616.6	2348.4	4.20	253.24	0.0012589	0.04729	1101.7	2798.4	1696.7
0.026	65.87	0.0010204	5.9819	275.68	2619.7	2344.0	4.30	254.66	0.0012623	0.04615	1108.6	2797.8	1689.2
0.028	67.55	0.0010214	5.5804	282.70	2622.6	2339.9	4.40	256.05	0.0012657	0.04506	1115.5	2797.2	1681.7
0.030	69.12	0.0010223	5.2308	289.31	2625.3	2336.0	4.50	257.41	0.0012691	0.04402	1122.2	2796.5	1674.3
0.040	75.89	0.0010265	3.9949	317.65	2636.8	2319.2	4.60	258.76	0.0012725	0.04302	1128.9	2795.9	1667.0
0.050	81.35	0.0010301	3.2415	340.57	2646.0	2305.4	4.70	260.08	0.0012758	0.04206	1135.4	2795.2	1659.8
0.060	85.95	0.0010333	2.7329	359.93	2653.6	2293.7	4.80	261.38	0.0012792	0.04114	1141.9	2794.4	1652.5
0.070	89.96	0.0010361	2.3658	376.77	2660.2	2283.4	4.90	262.66	0.0012825	0.04026	1148.3	2793.6	1645.3
0.080	93.51	0.0010387	2.0879	391.72	2666.0	2274.3	5.00	263.92	0.0012858	0.03941	1154.6	2792.8	1638.2
0.090	96.71	0.0010412	1.8701	405.21	2671.1	2265.9	5.20	266.38	0.0012925	0.03780	1167.0	2791.1	1624.1
0.100	99.63	0.0010434	1.6946	417.51	2675.7	2258.2	5.40	268.77	0.0012990	0.03631	1179.1	2789.3	1610.2
0.150	111.37	0.0010530	1.1597	467.13	2693.9	2226.8	5.60	271.09	0.0013056	0.03492	1191.0	2787.4	1596.4
0.200	120.23	0.0010608	0.88592	504.7	2706.9	2202.2	5.80	273.36	0.0013122	0.03363	1202.6	2785.4	1582.8
0.250	127.43	0.0010675	0.71881	535.4	2717.2	2181.8	6.00	275.56	0.0013187	0.03241	1213.9	2783.3	1569.4
0.300	133.54	0.0010735	0.60586	561.4	2725.5	2164.1	6.20	277.71	0.0013252	0.03127	1225.1	2781.1	1556.0
0.350	138.88	0.0010789	0.52425	584.3	2732.5	2148.2	6.40	279.80	0.0013318	0.03020	1236.0	2778.8	1542.8
0.400	143.62	0.0010839	0.46242	604.7	2738.5	2133.8	6.60	281.85	0.0013383	0.02920	1246.8	2776.4	1529.6
0.450	147.92	0.0010885	0.41392	623.2	2743.8	2120.6	6.80	283.85	0.0013448	0.02824	1257.3	2773.9	1516.6
0.500	151.85	0.0010928	0.37481	640.1	2748.5	2108.4	7.00	285.80	0.0013514	0.02734	1267.7	2771.4	1503.7
0.600	158.84	0.0011009	0.31556	670.4	2756.4	2086.0	7.20	287.71	0.0013579	0.02649	1278.0	2768.7	1490.7
0.700	164.96	0.0011082	0.27274	697.1	2762.9	2065.8	7.40	289.59	0.0013645	0.02568	1288.0	2766.1	1478.1
0.800	170.42	0.0011150	0.24030	720.9	2768.4	2047.5	7.60	291.42	0.0013711	0.02492	1298.0	2763.3	1465.3
0.900	175.36	0.0011213	0.21484	742.6	2773.0	2030.4	7.80	293.22	0.0013777	0.02419	1307.8	2760.4	1452.6
1.000	179.88	0.0011274	0.19430	762.6	2777.0	2014.4	8.00	294.98	0.0013843	0.02349	1317.5	2757.5	1440.0
1.10	184.06	0.0011331	0.17739	781.1	2780.4	1999.3	8.20	296.71	0.0013909	0.02283	1327.0	2754.5	1427.5
1.20	187.96	0.0011386	0.16320	798.4	2783.4	1985.0	8.40	298.40	0.0013976	0.02220	1336.5	2751.4	1414.9
1.30	191.60	0.0011438	0.15112	814.7	2786.0	1971.3	8.60	300.07	0.0014043	0.02159	1345.8	2748.3	1402.5
1.40	195.04	0.0011489	0.14072	830.1	2788.4	1958.3	8.80	301.70	0.0014111	0.02101	1355.1	2745.1	1390.0
1.50	198.28	0.0011538	0.13165	844.7	2790.4	1945.7	9.00	303.31	0.0014179	0.02046	1364.2	2741.8	1377.6
1.60	201.37	0.0011586	0.12368	858.6	2792.2	1933.6	9.20	304.89	0.0014247	0.01993	1373.2	2738.5	1365.3
1.70	204.30	0.0011633	0.11661	871.8	2793.8	1922.0	9.40	306.45	0.0014316	0.01942	1382.2	2735.1	1352.9
1.80	207.10	0.0011678	0.11031	884.6	2795.1	1910.5	9.60	307.98	0.0014385	0.01893	1391.1	2731.6	1340.5
1.90	209.79	0.0011722	0.10464	896.8	2796.4	1899.6	9.80	309.48	0.0014455	0.01845	1399.9	2728.0	1328.1
2.00	212.37	0.0011766	0.09953	908.6	2797.4	1888.8	10.0	310.96	0.0014526	0.01800	1406.6	2724.4	1315.8
2.10	214.85	0.0011808	0.09488	919.9	2798.3	1878.4	10.2	312.42	0.0014597	0.01756	1417.3	2720.8	1303.5
2.20	217.24	0.0011850	0.09064	930.9	2799.1	1868.2	10.4	313.86	0.0014668	0.01714	1425.8	2717.1	1291.3
2.30	219.54	0.0011891	0.08676	941.6	2799.8	1858.2	10.6	315.27	0.0014740	0.01674	1434.4	2713.2	1278.8
2.40	221.78	0.0011932	0.08319	951.9	2800.4	1848.5	10.8	316.67	0.0014813	0.01635	1442.8	2709.4	1266.6
2.50	223.94	0.0011972	0.07990	962.0	2800.8	1838.8	11.0	318.04	0.0014887	0.01597	1451.2	2705.4	1254.2

Продолжение таблицы XXIII

p МПа	t °С	υ' м³/кг	υ'' м³/кг	i' кДж/кг	i'' кДж/кг	r кДж/кг	p МПа	t °С	υ' м³/кг	υ'' м³/кг	i' кДж/кг	i'' кДж/кг	r кДж/кг
11.2	319.40	0.0014961	0.01560	1459.6	2701.5	1241.9	16.8	351.29	0.0017565	0.008581	1683.5	2557.5	874.0
11.4	320.73	0.0015036	0.01525	1467.9	2697.3	1229.4	17.0	352.26	0.0017690	0.008401	1691.6	2550.8	859.2
11.6	322.05	0.0015112	0.01490	1476.2	2693.2	1217.0	17.2	353.22	0.0017818	0.008223	1699.8	2544.0	844.2
11.8	323.35	0.0015189	0.01457	1484.4	2689.0	1204.6	17.4	354.16	0.0017951	0.006048	1708.1	2536.9	828.8
12.0	324.64	0.0015267	0.01425	1492.6	2684.8	1192.2	17.6	355.10	0.0018069	0.007875	1716.4	2529.7	813.3
12.2	325.90	0.0015345	0.01394	1500.7	2680.4	1179.7	17.8	356.04	0.0018231	0.007704	1724.9	2522.2	797.3
12.4	327.15	0.0015425	0.01363	1508.8	2676.0	1167.2	18.0	356.96	0.0018380	0.007534	1733.4	2514.4	781.0
12.6	328.39	0.0015506	0.01334	1516.9	2671.6	1154.7	18.2	357.87	0.0018534	0.007366	1742.1	2506.3	764.2
12.8	329.61	0.0015588	0.01305	1524.9	2667.0	1142.1	18.4	358.78	0.0018696	0.007198	1750.8	2497.9	747.1
13.0	330.81	0.0015670	0.01277	1533.0	2662.4	1129.4	18.6	359.67	0.0018865	0.007032	1759.8	2489.1	729.3
13.2	332.00	0.0015755	0.01250	1541.0	2657.7	1116.7	18.8	360.56	0.0019043	0.006866	1768.9	2479.8	710.9
13.4	333.18	0.0015840	0.01224	1548.9	2653.0	1104.1	19.0	361.44	0.0019231	0.006700	1778.2	2470.1	691.9
13.6	334.34	0.0015927	0.01199	1556.9	2648.2	1091.3	19.2	362.31	0.0019430	0.006534	1787.7	2459.8	672.1
13.8	335.49	0.0016015	0.01174	1564.8	2643.3	1078.5	19.4	363.17	0.0019642	0.006369	1797.5	2449.1	651.6
14.0	336.63	0.0016104	0.01149	1572.8	2638.3	1065.5	19.6	364.03	0.0019869	0.006204	1807.5	2437.8	630.3
14.2	337.75	0.0016195	0.01126	1580.7	2633.2	1052.5	19.8	364.87	0.002011	0.006039	1817.9	2426.1	608.2
14.4	338.86	0.0016288	0.01102	1588.6	2628.1	1039.5	20.0	365.71	0.002038	0.006873	1828.8	2413.8	585.0
14.6	339.96	0.0016382	0.01080	1596.5	2622.9	1026.4	20.2	366.54	0.002066	0.005706	1840.1	2400.9	560.8
14.8	341.04	0.0016483	0.01057	1604.3	2617.1	1012.8	20.4	367.37	0.002098	0.005537	1851.9	2387.3	535.4
15.0	342.12	0.0016580	0.01035	1612.2	2611.6	999.4	20.6	368.18	0.002134	0.005365	1864.5	2372.8	508.3
15.2	343.18	0.0016680	0.01014	1620.0	2606.1	986.1	20.8	368.99	0.002173	0.005189	1877.9	2357.2	479.3
15.4	344.23	0.0016782	0.009930	1627.9	2600.4	972.5	21.0	369.79	0.002218	0.005006	1892.2	2340.2	448.0
15.6	345.27	0.0016886	0.009726	1635.7	2594.6	958.9	21.2	370.58	0.002268	0.004780	1907.6	2321.3	413.7
15.8	346.30	0.0016992	0.009526	1643.6	2588.7	945.1	21.4	371.37	0.002327	0.004609	1924.7	2299.8	375.1
16.0	347.32	0.0017101	0.009330	1651.5	2582.7	931.2	21.6	372.15	0.002408	0.004382	1946.0	2274.2	328.2
16.2	348.32	0.0017212	0.009138	1659.4	2576.6	917.2	21.8	372.92	0.002510	0.004116	1971.0	2241.6	270.6
16.4	349.32	0.0017327	0.008949	1667.4	2570.4	903.0	22.0	373.68	0.002675	0.003757	2007.7	2192.5	184.8
16.6	350.31	0.0017444	0.008763	1675.4	2564.0	888.6							

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ВОДЫ

Таблица XXIV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=0.1 МПа		*p=0.2* МПа		*p=0.3* МПа	
0	0.0010002	0.0	0.0010001	0.2	0.0010001	0.3
10	0.0010003	42.1	0.0010002	42.2	0.0010001	42.3
20	0.0010017	84.0	0.0010016	84.0	0.0010016	84.1
30	0.0010043	125.8	0.0010042	125.8	0.0010042	125.9
40	0.0010078	167.5	0.0010077	167.6	0.0010077	167.7
50	0.0010121	209.3	0.0010120	209.4	0.0010120	209.5
60	0.0010171	251.2	0.0010171	251.2	0.0010170	251.3
70	0.0010228	293.0	0.0010228	293.1	0.0010227	293.2
80	0.0010292	335.0	0.0010291	335.0	0.0010291	335.1
90	0.0010361	377.0	0.0010361	377.0	0.0010360	377.1
100	-	-	0.0010437	419.1	0.0010436	419.2
110	-	-	0.0010518	461.4	0.0010518	461.4
120	-	-	0.0010606	503.7	0.0010606	503.8
130	-	-			0.0010700	546.3
	p=0.4 МПа		*p=0.6* МПа		*p=0.8* МПа	
0	0.0010000	0.4	0.0009999	0.6	0.0009998	0.8
10	0.0010001	42.4	0.0010000	42.6	0.0009999	42.8
20	0.0010015	84.2	0.0010014	84.4	0.0010014	84.6
30	0.0010041	126.0	0.0010040	126.2	0.0010040	126.4
40	0.0010076	167.8	0.0010075	168.0	0.0010075	168.2
50	0.0010119	209.6	0.0010118	209.8	0.0010118	209.9
60	0.0010170	251.4	0.0010169	251.6	0.0010168	251.7
70	0.0010227	293.3	0.0010226	293.4	0.0010225	293.6
80	0.0010290	335.2	0.0010289	335.4	0.0010288	335.5
90	0.0010360	377.2	0.0010359	377.3	0.0010358	377.5
100	0.0010436	419.3	0.0010434	419.4	0.0010433	419.6
110	0.0010517	461.5	0.0010516	461.6	0.0010515	461.8
120	0.0010605	503.9	0.0010604	504.0	0.0010603	504.1
130	0.0010699	546.4	0.0010698	546.5	0.0010697	546.7
140	0.0010800	589.1	0.0010799	589.3	0.0010798	589.4
150	-	-	0.0010907	632.2	0.0010906	632.4
160	-	-	-	-	0.0011021	675.6
170	-	-	-	-	0.0011144	719.1
	p=1.0 МПа		*p=1.5* МПа		*p=2.0* МПа	
0	0.0009997	1.0	0.0009995	1.5	0.0009992	2.0
10	0.0009998	43.0	0.0009995	43.5	0.0009993	43.9
20	0.0010013	84.8	0.0010010	85.3	0.0010008	85.7
30	0.0010039	126.6	0.0010036	127.0	0.0010034	127.5
40	0.0010074	168.3	0.0010071	168.8	0.0010069	169.2
50	0.0010117	210.1	0.0010114	210.6	0.0010112	211.0
60	0.0010167	251.9	0.0010165	252.3	0.0010162	252.7
70	0.0010224	293.8	0.0010222	294.2	0.0010219	294.6
80	0.0010287	335.7	0.0010285	336.1	0.0010282	336.5
90	0.0010357	377.7	0.0010354	378.0	0.0010352	378.4
100	0.0010432	419.7	0.0010430	420.1	0.0010427	420.5
110	0.0010514	461.9	0.0010511	462.3	0.0010508	462.7
120	0.0010602	504.3	0.0010599	504.6	0.0010596	505.0
130	0.0010696	546.8	0.0010693	547.1	0.0010690	547.5
140	0.0010796	589.5	0.0010793	589.8	0.0010790	590.2
150	0.0010904	632.5	0.0010901	632.8	0.0010897	633.1
160	0.0011019	675.7	0.0011016	676.0	0.0011012	676.3

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=1.0 МПа		*p=1.5* МПа		*p=2.0* МПа	
170	0.0011143	719.2	0.0011139	719.5	0.0011135	719.8
180	-	-	0.0011271	763.4	0.0011266	763.6
190	-	-	0.0011413	807.6	0.0011408	807.9
200	-	-	-	-	0.0011560	852.6
210	-	-	-	-	0.0011725	897.8
	p=3.0 МПа		*p=4.0* МПа		*p=5.0* МПа	
0	0.0009987	3.0	0.0009982	4.0	0.0009977	5.1
10	0.0009988	44.9	0.0009984	45.9	0.0009979	46.9
20	0.0010004	86.7	0.0009999	87.6	0.0009995	88.6
30	0.0010030	128.4	0.0010025	129.3	0.0010021	130.2
40	0.0010065	170.1	0.0010060	171.0	0.0010056	171.9
50	0.0010108	211.8	0.0010103	212.7	0.0010099	213.6
60	0.0010158	253.6	0.0010153	254.4	0.0010149	255.3
70	0.0010215	295.4	0.0010210	296.2	0.0010205	297.0
80	0.0010278	337.3	0.0010273	338.1	0.0010268	338.8
90	0.0010347	379.2	0.0010342	380.0	0.0010337	380.7
100	0.0010422	421.2	0.0010417	422.0	0.0010412	422.7
110	0.0010503	463.4	0.0010498	464.1	0.0010492	464.8
120	0.0010590	505.7	0.0010584	506.4	0.0010579	507.1
130	0.0010684	548.2	0.0010677	548.8	0.0010671	549.5
140	0.0010783	590.8	0.0010777	591.5	0.0010771	592.1
150	0.0010890	633.7	0.0010883	634.3	0.0010877	635.0
160	0.0011005	676.9	0.0010997	677.5	0.0010990	678.0
170	0.0011127	720.3	0.0011119	720.9	0.0011111	721.4
180	0.0011258	764.1	0.0011249	764.6	0.0011241	765.2
190	0.0011399	808.3	0.0011389	808.8	0.0011380	809.3
200	0.0011550	853.0	0.0011540	853.4	0.0011530	853.8
210	0.0011714	898.1	0.0011702	898.5	0.0011691	898.8
220	0.0011891	943.9	0.0011878	944.2	0.0011866	944.4
230	0.0012084	990.3	0.0012070	990.5	0.0012056	990.7
240	-	-	0.0012280	1037.7	0.0012264	1037.8
250	-	-	0.0012512	1085.8	0.0012494	1085.8
260	-	-	-	-	0.0012750	1135.0
	p=6.0 МПа		*p=7.0* МПа		*p=8.0* МПа	
0	0.0009972	6.1	0.0009967	7.1	0.0009962	8.1
10	0.0009974	47.8	0.0009970	48.8	0.0009965	49.8
20	0.0009990	89.5	0.0009986	90.4	0.0009981	91.4
30	0.0010016	131.1	0.0010012	132.0	0.0010008	132.9
40	0.0010051	172.7	0.0010047	173.6	0.0010043	174.5
50	0.0010094	214.4	0.0010090	215.3	0.0010086	216.1
60	0.0010144	256.1	0.0010140	256.9	0.0010135	257.8
70	0.0010201	297.8	0.0010196	298.7	0.0010192	299.5
80	0.0010263	339.6	0.0010259	340.4	0.0010254	341.2
90	0.0010332	381.5	0.0010327	382.3	0.0010322	383.1
100	0.0010406	423.5	0.0010401	424.2	0.0010396	425.0
110	0.0010487	465.6	0.0010481	466.3	0.0010476	467.0
120	0.0010573	507.8	0.0010567	508.5	0.0010562	509.2
130	0.0010665	550.2	0.0010660	550.9	0.0010654	551.6
140	0.0010764	592.8	0.0010758	593.4	0.0010752	594.1
150	0.0010870	635.6	0.0010863	636.2	0.0010856	636.8
160	0.0010983	678.6	0.0010976	679.2	0.0010968	679.8

Продолжение таблицы XXIV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=6.0 МПа		*p=7.0* МПа		*p=8.0* МПа	
170	0.0011103	722.0	0.0011096	722.6	0.0011088	723.1
180	0.0011232	765.7	0.0011224	766.2	0.0011216	766.7
190	0.0011371	809.7	0.0011362	810.2	0.0011353	810.7
200	0.0011519	854.2	0.0011510	854.6	0.0011500	855.1
210	0.0011680	899.2	0.0011669	899.6	0.0011658	899.9
220	0.0011853	944.7	0.0011841	945.0	0.0011829	945.3
230	0.0012042	990.9	0.0012028	991.1	0.0012015	991.4
240	0.0012249	1037.9	0.0012233	1038.0	0.0012218	1038.2
250	0.0012476	1085.8	0.0012458	1085.8	0.0012440	1085.8
260	0.0012729	1134.8	0.0012708	1134.7	0.0012687	1134.6
270	0.0013013	1185.2	0.0012988	1184.9	0.0012964	1184.6
280	-	-	0.0013307	1236.7	0.0013277	1236.2
290	-	-	-	-	0.0013639	1289.8
	p=9.0 МПа		*p=10.0* МПа		*p=11.0* МПа	
0	0.0009958	9.1	0.0009953	10.1	0.0009948	11.1
10	0.0009960	50.7	0.0009956	51.7	0.0009951	52.7
20	0.0009977	92.3	0.0009972	93.2	0.0009968	94.2
30	0.0010003	133.8	0.0009999	134.7	0.0009995	135.7
40	0.0010038	175.4	0.0010034	176.3	0.0010030	177.2
50	0.0010081	217.0	0.0010077	217.8	0.0010073	218.7
60	0.0010131	258.6	0.0010126	259.4	0.0010122	260.3
70	0.0010187	300.3	0.0010182	301.1	0.0010178	301.9
80	0.0010249	342.0	0.0010244	342.8	0.0010240	343.6
90	0.0010317	383.8	0.0010312	384.6	0.0010308	385.4
100	0.0010391	425.8	0.0010386	426.5	0.0010381	427.2
110	0.0010471	467.8	0.0010465	468.5	0.0010460	469.2
120	0.0010556	509.9	0.0010551	510.6	0.0010545	511.3
130	0.0010648	552.2	0.0010642	552.9	0.0010636	553.6
140	0.0010745	594.7	0.0010739	595.4	0.0010733	596.1
150	0.0010850	637.5	0.0010843	638.1	0.0010837	638.7
160	0.0010961	680.4	0.0010954	681.0	0.0010947	681.6
170	0.0011080	723.7	0.0011072	724.2	0.0011065	724.8
180	0.0011207	767.2	0.0011199	767.8	0.0011191	768.3
190	0.0011344	811.2	0.0011335	811.6	0.0011326	812.1
200	0.0011490	855.5	0.0011480	855.9	0.0011470	856.4
210	0.0011647	900.3	0.0011636	900.7	0.0011626	901.1
220	0.0011817	945.6	0.0011805	946.0	0.0011793	946.3
230	0.0012001	991.6	0.0011988	991.8	0.0011975	992.1
240	0.0012202	1038.3	0.0012188	1038.4	0.0012173	1038.6
250	0.0012423	1085.9	0.0012406	1085.9	0.0012389	1085.9
260	0.0012667	1134.4	0.0012648	1134.3	0.0012628	1134.3
270	0.0012940	1184.3	0.0012917	1184.0	0.0012894	1183.8
280	0.0013249	1235.6	0.0013221	1235.2	0.0013194	1234.7
290	0.0013604	1289.0	0.0013570	1288.2	0.0013536	1287.5
300	0.0014022	1344.9	0.0013978	1343.7	0.0013936	1342.6
310	-	-	0.0014472	1402.6	0.0014416	1400.9
	p=12.0 МПа		*p=13.0* МПа		*p=14.0* МПа	
0	0.0009943	12.1	0.0009938	13.1	0.0009933	14.1
10	0.0009947	53.6	0.0009942	54.6	0.0009938	55.6
20	0.0009964	95.1	0.0009959	96.0	0.0009955	97.0
30	0.0009991	136.6	0.0009986	137.4	0.0009982	138.4
40	0.0010026	178.1	0.0010021	178.9	0.0010017	179.8

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=12.0 МПа		*p=13.0* МПа		*p=14.0* МПа	
50	0.0010068	219.6	0.0010064	220.4	0.0010060	221.3
60	0.0010118	261.1	0.0010113	262.0	0.0010109	262.8
70	0.0010174	302.7	0.0010169	303.6	0.0010164	304.4
80	0.0010235	344.4	0.0010231	345.2	0.0010226	346.0
90	0.0010303	386.2	0.0010298	386.9	0.0010293	387.7
100	0.0010376	428.0	0.0010371	428.8	0.0010366	429.5
110	0.0010455	470.0	0.0010450	470.7	0.0010444	471.4
120	0.0010540	512.0	0.0010534	512.8	0.0010529	513.5
130	0.0010630	554.3	0.0010624	555.0	0.0010619	555.7
140	0.0010727	596.7	0.0010721	597.4	0.0010715	598.0
150	0.0010830	639.3	0.0010824	640.0	0.0010817	640.6
160	0.0010940	682.2	0.0010933	682.8	0.0010926	683.4
170	0.0011058	725.4	0.0011050	725.9	0.0011043	726.5
180	0.0011183	768.8	0.0011175	769.4	0.0011167	769.9
190	0.0011317	812.6	0.0011308	813.1	0.0011300	813.6
200	0.0011461	856.8	0.0011451	857.2	0.0011442	857.7
210	0.0011615	901.4	0.0011605	901.8	0.0011594	902.2
220	0.0011782	946.6	0.0011770	946.9	0.0011759	947.2
230	0.0011962	992.3	0.0011949	992.6	0.0011936	992.8
240	0.0012158	1038.8	0.0012144	1038.9	0.0012129	1039.1
250	0.0012375	1086.0	0.0012356	1086.1	0.0012340	1086.1
260	0.0012609	1134.2	0.0012590	1134.1	0.0012572	1134.1
270	0.0012872	1183.5	0.0012850	1183.3	0.0012828	1183.1
280	0.0013167	1234.3	0.0013141	1233.9	0.0013115	1233.5
290	0.0013504	1286.8	0.0013472	1286.1	0.0013441	1285.5
300	0.0013895	1341.5	0.0013855	1340.5	0.0013816	1339.5
310	0.0014362	1399.3	0.0014310	1397.8	0.0014260	1396.4
320	0.0014941	1461.5	0.0014869	1459.2	0.0014801	1457.0
330	-	-	0.0015600	1526.9	0.0015497	1523.5
	p=15.0 МПа		*p=16.0* МПа		*p=17.0* МПа	
0	0.0009928	15.1	0.0009924	16.1	0.0009919	17.1
10	0.0009933	56.5	0.0009928	57.5	0.0009924	58.4
20	0.0009950	97.9	0.0009946	98.8	0.0009942	99.7
30	0.0009978	139.3	0.0009973	140.2	0.0009969	141.1
40	0.0010013	180.7	0.0010008	181.6	0.0010004	182.4
50	0.0010055	222.1	0.0010051	223.0	0.0010047	223.8
60	0.0010105	263.6	0.0010100	264.5	0.0010096	265.3
70	0.0010160	305.2	0.0010156	306.0	0.0010151	306.8
80	0.0010221	346.8	0.0010217	347.6	0.0010212	348.4
90	0.0010289	388.5	0.0010284	389.3	0.0010279	390.0
100	0.0010361	430.3	0.0010356	431.0	0.0010351	431.8
110	0.0010439	472.2	0.0010434	472.9	0.0010429	473.6
120	0.0010523	514.2	0.0010518	514.9	0.0010512	515.6
130	0.0010613	556.4	0.0010607	557.0	0.0010602	557.7
140	0.0010709	598.7	0.0010703	599.4	0.0010697	600.0
150	0.0010811	641.3	0.0010804	641.9	0.0010798	642.5
160	0.0010919	684.0	0.0010912	684.6	0.0010906	685.2
170	0.0011035	727.1	0.0011028	727.7	0.0011021	728.2
180	0.0011159	770.4	0.0011151	771.0	0.0011143	771.5
190	0.0011291	814.1	0.0011282	814.6	0.0011274	815.1
200	0.0011432	858.1	0.0011423	858.6	0.0011414	859.0
210	0.0011584	902.6	0.0011574	903.0	0.0011564	903.4
220	0.0011748	947.6	0.0011736	947.9	0.0011725	948.3

Продолжение таблицы XXIV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=15.0 МПа		*p=16.0* МПа		*p=17.0* МПа			*p=18.0* МПа		*p=19.0* МПа		*p=20.0* МПа	
230	0.0011924	993.1	0.0011912	993.4	0.0011899	993.7	130	0.0010596	558.4	0.0010590	559.1	0.0010585	559.8
240	0.0012115	1039.3	0.0012101	1039.5	0.0012088	1039.7	140	0.0010691	600.7	0.0010685	601.4	0.0010679	602.0
250	0.0012324	1086.2	0.0012308	1086.3	0.0012293	1086.4	150	0.0010792	643.2	0.0010785	643.8	0.0010779	644.4
260	0.0012553	1134.0	0.0012535	1134.0	0.0012517	1134.0	160	0.0010899	685.9	0.0010892	686.5	0.0010886	687.1
270	0.0012807	1182.9	0.0012786	1182.8	0.0012765	1182.6	170	0.0011014	728.8	0.0011006	729.4	0.0010999	730.0
280	0.0013090	1233.1	0.0013065	1232.8	0.0013041	1232.4	180	0.0011136	772.0	0.0011128	772.6	0.0011120	773.1
290	0.0013410	1284.9	0.0013381	1284.3	0.0013352	1283.8	190	0.0011266	815.6	0.0011257	816.1	0.0011249	816.6
300	0.0013779	1338.6	0.0013742	1337.7	0.0013707	1336.9	200	0.0011405	859.5	0.0011396	860.0	0.0011387	860.4
310	0.0014212	1395.0	0.0014165	1393.7	0.0014120	1392.4	210	0.0011554	903.8	0.0011545	904.2	0.0011534	904.7
320	0.0014736	1455.0	0.0014674	1453.0	0.0014615	1451.2	220	0.0011714	948.6	0.0011703	949.0	0.0011693	949.3
330	0.0015402	1520.3	0.0015312	1517.3	0.0015229	1514.6	230	0.0011887	993.9	0.0011875	994.2	0.0011863	994.5
340	0.0016323	1594.6	0.0016175	1589.6	0.0016042	1585.0	240	0.0012074	1039.9	0.0012061	1040.1	0.0012047	1040.3
350	-	-	-	-	0.0017286	1668.7	250	0.0012277	1086.5	0.0012262	1086.7	0.0012247	1086.8
							260	0.0012500	1134.0	0.0012483	1134.0	0.0012466	1134.1
	p=18.0 МПа		*p=19.0* МПа		*p=20.0* МПа								
0	0.0009914	18.1	0.0009909	19.1	0.0009904	20.1	270	0.0012745	1182.5	0.0012725	1182.4	0.0012706	1182.3
10	0.0009919	59.4	0.0009915	60.4	0.0009910	61.3	280	0.0013017	1232.1	0.0012994	1231.9	0.0012971	1231.6
20	0.0009937	100.7	0.0009933	101.6	0.0009929	102.5	290	0.0013324	1283.2	0.0013296	1282.8	0.0013269	1282.3
30	0.0009965	142.0	0.0009960	142.9	0.0009956	143.8	300	0.0013672	1336.1	0.0013639	1335.3	0.0013606	1334.6
40	0.0010000	183.3	0.0009996	184.2	0.0009992	185.1	310	0.0014077	1391.3	0.0014035	1390.1	0.0013994	1389.1
50	0.0010043	224.7	0.0010038	225.6	0.0010034	226.4	320	0.0014558	1449.5	0.0014503	1447.9	0.0014450	1446.3
60	0.0010092	266.1	0.0010087	267.0	0.0010083	267.8	330	0.0015150	1512.0	0.0015075	1509.6	0.0015003	1507.3
70	0.0010147	307.6	0.0010142	308.4	0.0010138	309.3	340	0.0015920	1580.9	0.0015807	1577.2	0.0015703	1573.7
80	0.0010208	349.2	0.0010203	350.0	0.0010199	350.8	350	0.001704	1660.9	0.001683	1654.2	0.001666	1648.4
90	0.0010274	390.8	0.0010270	391.6	0.0010265	392.4	355	0.001790	1710.2	0.001757	1699.8	0.001731	1691.4
100	0.0010346	432.5	0.0010342	433.3	0.0010337	434.0	360	-	-	0.001871	1756.8	0.001823	1742.0
110	0.0010424	474.4	0.0010419	475.1	0.0010414	475.8	365	-	-	-	-	0.001991	1813.2
120	0.0010507	516.3	0.0010502	517.0	0.0010496	517.7							

Продолжение таблицы XXIV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг
	p=21.0 МПа			*p=21.0* МПа			*p=22.0* МПа			*p=22.0* МПа	
0	0.0009900	21.1	200	0.0011378	860.9	0	0.0009895	22.1	200	0.0011369	861.4
10	0.0009906	62.3	210	0.0011525	905.1	10	0.0009901	63.2	210	0.0011515	905.5
20	0.0009924	103.4	220	0.0011682	949.7	20	0.0009920	104.4	220	0.0011671	950.1
30	0.0009952	144.7	230	0.0011851	994.8	30	0.0009948	145.6	230	0.0011840	995.1
40	0.0009988	185.9	240	0.0012034	1040.5	40	0.0009983	186.8	240	0.0012021	1040.8
50	0.0010030	227.3	250	0.0012232	1086.9	50	0.0010026	228.1	250	0.0012218	1087.1
60	0.0010079	268.6	260	0.0012449	1134.1	60	0.0010075	269.5	260	0.0012432	1134.1
70	0.0010134	310.1	270	0.0012686	1182.2	70	0.0010129	310.9	270	0.0012667	1182.1
80	0.0010194	351.6	280	0.0012949	1231.4	80	0.0010190	352.4	280	0.0012927	1231.1
90	0.0010260	393.1	290	0.0013242	1281.8	90	0.0010256	393.9	290	0.0013216	1281.4
100	0.0010332	434.8	300	0.0013574	1333.9	100	0.0010327	435.6	300	0.0013542	1333.3
110	0.0010409	476.6	310	0.0013954	1388.1	110	0.0010404	477.3	310	0.0013916	1387.1
120	0.0010491	518.5	320	0.0014400	1444.8	120	0.0010486	519.2	320	0.0014351	1443.4
130	0.0010579	560.5	330	0.0014936	1505.1	130	0.0010574	561.2	330	0.0014871	1503.1
140	0.0010673	602.7	340	0.0015606	1570.5	140	0.0010667	603.4	340	0.0015515	1567.5
150	0.0010773	645.1	350	0.001650	1643.1	150	0.0010767	645.7	350	0.001636	1638.4
160	0.0010879	687.7	360	0.001788	1730.9	160	0.0010872	688.3	360	0.001760	1721.8
170	0.0010992	730.6	370	-	-	170	0.0010985	731.1	370	0.002025	1844.6
180	0.0011112	773.7				180	0.0011105	774.2			
190	0.0011241	817.1				190	0.0011233	817.6			

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ПРИ ДОКРИТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

Таблица XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 0.1 МПа		p = 0.15 МПа		p = 0.2 МПа	
100	1.696	2676.5	-	-	-	-
110	1.745	2696.7	-	-	-	-
120	1.793	2716.8	1.188	2711.7	-	-
130	1.841	2736.8	1.221	2732.2	0.9104	2727.5
140	1.889	2756.6	1.253	2752.5	0.9352	2748.4
150	1.937	2776.4	1.286	2772.7	0.9598	2769.0
160	1.984	2796.2	1.318	2792.9	0.9842	2789.5
170	2.031	2816.0	1.349	2812.9	1.008	2809.8
180	2.078	2835.7	1.381	2832.9	1.032	2830.1
190	2.125	2855.4	1.413	2852.8	1.056	2850.3
200	2.172	2875.2	1.444	2872.8	1.080	2870.4
210	2.219	2894.9	1.476	2892.7	1.104	2890.5
220	2.266	2914.7	1.507	2912.6	1.128	2910.6
230	2.313	2934.5	1.539	2932.6	1.152	2930.7
240	2.359	2954.3	1.570	2952.6	1.175	2950.8
250	2.406	2974.2	1.601	2972.5	1.199	2970.8
260	2.453	2994.1	1.632	2992.5	1.222	2990.9
270	2.499	3014.0	1.664	3012.5	1.246	3011.1
280	2.546	3034.0	1.695	3032.6	1.269	3031.2
290	2.592	3054.0	1.726	3052.7	1.293	3051.4
300	2.639	3074.1	1.757	3072.9	1.316	3071.6
310	2.685	3094.3	1.788	3093.1	1.340	3091.9
320	2.732	3114.4	1.819	3113.3	1.363	3112.2
330	2.778	3134.7	1.850	3133.6	1.386	3132.5
340	2.824	3155.1	1.881	3153.9	1.410	3152.9
350	2.871	3175.3	1.912	3174.3	1.433	3173.3
360	2.917	3195.7	1.943	3194.8	1.456	3193.8
370	2.964	3216.2	1.974	3215.3	1.479	3214.4
380	3.010	3236.7	2.005	3235.9	1.503	3235.0
390	3.056	3257.3	2.036	3256.5	1.526	3255.7
400	3.103	3278.0	2.067	3277.2	1.549	3276.4
410	3.149	3298.7	2.098	3297.9	1.572	3297.2
420	3.195	3319.5	2.129	3318.7	1.596	3318.0
430	3.242	3340.3	2.160	3339.6	1.619	3338.9
440	3.288	3361.2	2.191	3360.5	1.642	3359.8
450	3.334	3382.2	2.222	3381.5	1.665	3380.8
	p = 0.25 МПа		p = 0.3 МПа		p = 0.4 МПа	
130	0.7241	2722.7	-	-	-	-
140	0.7443	2744.0	0.6170	2739.6	-	-
150	0.7644	2765.1	0.6340	2761.2	0.4708	2752.9
160	0.7842	2786.0	0.6508	2782.4	0.4839	2775.0
170	0.8034	2806.7	0.6674	2803.4	0.4967	2796.8
180	0.8233	2827.2	0.6838	2824.3	0.5094	2818.3
190	0.8427	2847.6	0.7002	2845.0	0.5219	2839.5
200	0.8620	2868.0	0.7164	2865.6	0.5343	2860.6
210	0.8812	2888.3	0.7325	2886.1	0.5466	2881.5
220	0.9004	2908.5	0.7486	2906.5	0.5588	2902.2
230	0.9194	2928.8	0.7646	2926.9	0.5710	2922.9
240	0.9384	2949.0	0.7805	2947.2	0.5831	2943.5
250	0.9574	2969.2	0.7964	2967.5	0.5952	2964.1
260	0.9763	2989.4	0.8123	2987.8	0.6071	2984.6
270	0.9952	3009.6	0.8281	3008.1	0.6191	3005.2
280	1.014	3029.8	0.8438	3028.5	0.6311	3025.7
290	1.033	3050.1	0.8596	3048.8	0.6430	3046.2
300	1.052	3070.4	0.8753	3069.2	0.6548	3066.7
310	1.070	3090.7	0.8910	3089.6	0.6667	3087.2
320	1.089	3111.1	0.9067	3110.0	0.6785	3107.7

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 0.25 МПа		p = 0.3 МПа		p = 0.4 МПа	
330	1.108	3131.5	0.9223	3130.4	0.6903	3128.3
340	1.127	3151.9	0.9380	3150.9	0.7021	3148.9
350	1.145	3172.4	0.9536	3171.4	0.7139	3169.5
360	1.164	3192.9	0.9692	3192.0	0.7257	3190.1
370	1.183	3213.5	0.9848	3212.7	0.7374	3210.9
380	1.201	3234.2	1.000	3233.4	0.7492	3231.7
390	1.220	3254.9	1.016	3254.1	0.7609	3252.5
400	1.238	3275.6	1.031	3274.9	0.7726	3273.3
410	1.257	3296.4	1.047	3295.7	0.7843	3294.2
420	1.276	3317.3	1.062	3316.6	0.7960	3315.2
430	1.294	3338.2	1.078	3337.5	0.8077	3336.2
440	1.313	3359.2	1.094	3358.5	0.8193	3357.2
450	1.332	3380.2	1.109	3379.6	0.8310	3378.3
	p = 0.5 МПа		p = 0.6 МПа		p = 0.7 МПа	
160	0.3836	2767.4	0.3166	2759.2	-	-
170	0.3942	2789.9	0.3258	2782.7	0.2768	2775.2
180	0.4046	2812.1	0.3347	2805.6	0.2847	2798.9
190	0.4148	2833.9	0.3434	2828.1	0.2924	2822.1
200	0.4249	2855.4	0.3521	2850.2	0.2999	2844.8
210	0.4349	2876.8	0.3606	2872.0	0.3074	2867.1
220	0.4449	2897.9	0.3690	2893.6	0.3147	2889.1
230	0.4548	2918.9	0.3774	2914.9	0.3220	2910.8
240	0.4646	2939.9	0.3857	2936.1	0.3292	2932.3
250	0.4744	2960.7	0.3939	2957.2	0.3363	2953.7
260	0.4841	2981.4	0.4021	2978.2	0.3434	2974.9
270	0.4938	3002.1	0.4102	2999.1	0.3505	2996.1
280	0.5034	3022.8	0.4183	3020.0	0.3575	3017.2
290	0.5130	3043.5	0.4264	3040.9	0.3644	3038.2
300	0.5226	3064.2	0.4344	3061.7	0.3714	3059.1
310	0.5321	3084.8	0.4424	3082.4	0.3783	3080.0
320	0.5416	3105.5	0.4504	3103.2	0.3852	3100.9
330	0.5511	3126.1	0.4584	3124.0	0.3921	3121.8
340	0.5606	3146.8	0.4663	3144.8	0.3989	3142.7
350	0.5701	3167.5	0.4742	3165.6	0.4057	3163.6
360	0.5796	3188.3	0.4821	3186.4	0.4126	3184.6
370	0.5890	3209.1	0.4900	3207.4	0.4194	3205.6
380	0.5984	3230.0	0.4979	3228.4	0.4262	3226.6
390	0.6078	3250.9	0.5058	3249.3	0.4329	3247.7
400	0.6172	3271.8	0.5137	3270.3	0.4397	3268.7
410	0.6266	3292.7	0.5215	3291.3	0.4465	3289.8
420	0.6360	3313.7	0.5294	3312.4	0.4532	3310.9
430	0.6454	3334.8	0.5372	3333.5	0.4600	3332.1
440	0.6548	3355.9	0.5451	3354.6	0.4667	3353.3
450	0.6641	3377.0	0.5529	3375.8	0.4734	3374.5
460	0.6735	3398.2	0.5607	3397.1	0.4801	3395.8
470	0.6828	3419.5	0.5685	3418.4	0.4869	3417.2
480	0.6922	3440.8	0.5763	3439.7	0.4936	3438.6
490	0.7015	3462.2	0.5841	3461.1	0.5003	3460.0
500	0.7109	3483.6	0.5919	3482.6	0.5070	3481.5
510	0.7202	3505.1	0.5997	3504.1	0.5137	3503.1
520	0.7295	3526.7	0.6075	3525.7	0.5204	3524.7
530	0.7388	3548.3	0.6153	3547.4	0.5270	3546.4
540	0.7482	3570.0	0.6231	3569.1	0.5337	3568.1
550	0.7575	3591.7	0.6309	3590.8	0.5404	3589.9
560	-	-	-	-	0.5471	3611.8
570	-	-	-	-	0.5537	3633.7

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 0.5 МПа		p = 0.6 МПа		p = 0.7 МПа	
580	-	-	-	-	0.5604	3655.7
590	-	-	-	-	0.5671	3677.7
600	-	-	-	-	0.5737	3699.8
610	-	-	-	-	0.5804	3722.0
620	-	-	-	-	0.5870	3744.2
630	-	-	-	-	0.5937	3766.4
640	-	-	-	-	0.6004	3788.8
650	-	-	-	-	0.6070	3811.2
	p = 0.8 МПа		p = 0.9 МПа		p = 1.0 МПа	
180	0.2471	2792.0	0.2178	2784.8	0.1944	2777.3
190	0.2540	2815.9	0.2242	2809.5	0.2002	2802.9
200	0.2608	2839.2	0.2304	2833.5	0.2059	2827.5
210	0.2675	2862.0	0.2364	2856.9	0.2115	2851.5
220	0.2740	2884.5	0.2423	2879.8	0.2169	2874.9
230	0.2805	2906.6	0.2481	2902.3	0.2223	2897.9
240	0.2869	2928.4	0.2539	2924.5	0.2275	2920.5
250	0.2932	2950.1	0.2596	2946.5	0.2327	2942.8
260	0.2995	2971.6	0.2652	2968.2	0.2378	2964.8
270	0.3057	2993.0	0.2708	2989.8	0.2429	2986.7
280	0.3119	3014.2	0.2764	3011.3	0.2480	3008.3
290	0.3180	3035.4	0.2819	3032.7	0.2530	3029.9
300	0.3241	3056.5	0.2874	3054.0	0.2580	3051.3
310	0.3302	3077.6	0.2928	3075.2	0.2629	3072.7
320	0.3363	3098.7	0.2983	3096.3	0.2678	3094.0
330	0.3423	3119.7	0.3037	3117.5	0.2727	3115.3
340	0.3484	3140.7	0.3091	3138.6	0.2776	3136.5
350	0.3544	3161.7	0.3144	3159.7	0.2825	3157.7
360	0.3604	3182.7	0.3198	3180.8	0.2873	3178.9
370	0.3664	3203.3	0.3251	3202.0	0.2921	3200.2
380	0.3723	3225.0	0.3304	3223.2	0.2970	3221.5
390	0.3783	3246.1	0.3358	3244.4	0.3018	3242.8
400	0.3842	3267.2	0.3411	3265.6	0.3066	3264.0
410	0.3902	3288.3	0.3464	3286.8	0.3113	3285.3
420	0.3961	3309.5	0.3517	3308.1	0.3161	3306.6
430	0.4020	3330.7	0.3569	3329.3	0.3209	3327.9
440	0.4079	3352.0	0.3622	3350.6	0.3256	3349.3
460	0.4197	3394.6	0.3727	3393.4	0.3351	3392.1
470	0.4256	3416.0	0.3780	3414.8	0.3399	3413.6
480	0.4315	3437.4	0.3832	3436.3	0.3446	3435.1
490	0.4374	3458.9	0.3885	3457.8	0.3493	3456.7
500	0.4432	3480.5	0.3937	3479.4	0.3540	3478.3
510	0.4491	3502.1	0.3989	3501.0	0.3588	3500.0
520	0.4550	3523.7	0.4041	3522.7	0.3635	3521.7
530	0.4608	3545.4	0.4094	3544.4	0.3682	3543.5
540	0.4667	3567.2	0.4146	3566.2	0.3729	3565.3
550	0.4725	3589.0	0.4198	3588.1	0.3776	3587.2
560	0.4784	3610.9	0.4250	3610.0	0.3823	3609.1
570	0.4842	3632.8	0.4302	3632.0	0.3870	3631.1
580	0.4901	3654.8	0.4354	3654.0	0.3916	3653.2
590	0.4959	3676.9	0.4406	3676.1	0.3963	3675.3
600	0.5018	3699.0	0.4458	3698.2	0.4010	3697.4
610	0.5076	3721.2	0.4510	3720.4	0.4057	3719.6
620	0.5134	3743.4	0.4562	3742.7	0.4104	3741.9
630	0.5193	3765.7	0.4614	3765.0	0.4151	3764.2
640	0.5251	3788.1	0.4666	3787.4	0.4197	3786.6
650	0.5309	3810.5	0.4718	3809.8	0.4244	3809.1
	p = 1.1 МПа		p = 1.2 МПа		p = 1.3 МПа	
190	0.1806	2796.0	0.1642	2788.9	-	-

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 1.1 МПа		p = 1.2 МПа		p = 1.3 МПа	
200	0.1859	2821.5	0.1692	2815.2	0.1551	2808.8
210	0.1911	2846.1	0.1741	2840.5	0.1597	2834.8
220	0.1962	2870.0	0.1788	2865.0	0.1641	2859.9
230	0.2011	2893.4	0.1834	2888.9	0.1684	2884.2
240	0.2059	2916.4	0.1879	2912.2	0.1727	2908.0
250	0.2107	2939.0	0.1924	2935.2	0.1768	2931.3
260	0.2154	2961.3	0.1968	2957.8	0.1809	2954.2
270	0.2201	2983.4	0.2011	2980.2	0.1850	2976.8
280	0.2247	3005.3	0.2054	3002.3	0.1890	2999.2
290	0.2293	3027.1	0.2096	3024.2	0.1929	3021.4
300	0.2339	3048.7	0.2138	3046.0	0.1968	3043.4
310	0.2384	3070.2	0.2180	3067.7	0.2007	3065.2
320	0.2429	3091.6	0.2222	3089.3	0.2046	3086.9
330	0.2474	3113.0	0.2263	3110.8	0.2084	3108.5
340	0.2519	3134.4	0.2304	3132.2	0.2123	3130.1
350	0.2553	3155.7	0.2345	3153.7	0.2161	3151.7
360	0.2607	3177.0	0.2386	3175.1	0.2199	3173.2
370	0.2652	3198.4	0.2426	3196.6	0.2236	3194.8
380	0.2696	3219.8	0.2467	3218.1	0.2274	3216.3
390	0.2739	3241.1	0.2507	3239.5	0.2311	3237.6
400	0.2783	3262.5	0.2548	3260.9	0.2348	3259.3
410	0.2827	3283.8	0.2588	3282.3	0.2386	3280.8
420	0.2870	3305.2	0.2628	3303.7	0.2423	3302.3
430	0.2914	3326.5	0.2668	3325.1	0.2460	3323.7
440	0.2957	3347.9	0.2708	3346.6	0.2497	3345.3
450	0.3000	3369.4	0.2748	3368.1	0.2534	3366.8
460	0.3044	3390.9	0.2787	3389.6	0.2570	3388.4
470	0.3087	3412.4	0.2827	3411.2	0.2607	3410.0
480	0.3130	3434.0	0.2867	3432.8	0.2644	3431.6
490	0.3173	3455.6	0.2906	3454.4	0.2680	3453.3
500	0.3216	3477.2	0.2946	3476.1	0.2717	3475.1
510	0.3259	3498.9	0.2985	3497.9	0.2753	3496.8
520	0.3302	3520.7	0.3025	3519.7	0.2790	3518.7
530	0.3345	3542.7	0.3064	3541.5	0.2826	3540.5
540	0.3388	3564.3	0.3103	3563.4	0.2863	3562.4
550	0.3430	3586.2	0.3142	3585.3	0.2899	3584.4
560	0.3473	3608.2	0.3182	3607.3	0.2935	3606.4
570	0.3516	3630.2	0.3221	3629.4	0.2972	3628.5
580	0.3559	3652.3	0.3260	3651.5	0.3008	3650.6
590	0.3601	3674.4	0.3299	3673.6	0.3044	3672.8
					0.3080	3695.0
600	0.3644	3696.6	0.3339	3695.8		
610	0.3686	3718.9	0.3378	3718.1	0.3116	3717.3
620	0.3729	3741.2	0.3417	3740.4	0.3153	3739.7
630	0.3772	3763.5	0.3456	3762.8	0.3189	3762.1
640	0.3814	3785.9	0.3495	3785.2	0.3225	3784.5
650	0.3857	3808.4	0.3534	3807.7	0.3261	3807.0
	p = 1.4 МПа		p = 1.5 МПа		p = 1.6 МПа	
200	0.1429	2802.1	0.1324	2795.3	-	-
210	0.1473	2828.9	0.1366	2822.9	0.1271	2816.7
220	0.1515	2854.5	0.1406	2849.2	0.1310	2843.7
230	0.1556	2879.5	0.1445	2874.7	0.1347	2869.8
240	0.1596	2903.7	0.1483	2899.3	0.1383	2894.9
250	0.1635	2927.4	0.1520	2923.4	0.1419	2919.4
260	0.1674	2950.6	0.1556	2947.0	0.1453	2943.3
270	0.1712	2973.5	0.1592	2970.2	0.1487	2966.7
280	0.1749	2996. 1	0.1627	2993.0	0.1521	2989.8
290	0.1786	3018.5	0.1662	3015.6	0.1554	3012.7
300	0.1823	3040.7	0.1697	3037.9	0.1586	3035.2
310	0.1859	3062.7	0.1731	3060.1	0.1619	3057.5

Продолжение таблицы XXV

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 1.4 МПа		p = 1.5 МПа		p = 1.6 МПа	
320	0.1895	3084.5	0.1765	3082.1	0.1651	3079.7
330	0.1931	3106.3	0.1799	3104.0	0.1683	3101.7
340	0.1967	3128.0	0.1832	3125.8	0.1714	3123.6
350	0.2002	3149.6	0.1866	3147.6	0.1746	3145.5
360	0.2038	3171.2	0.1899	3169.3	0.1777	3167.4
370	0.2073	3192.9	0.1932	3191.1	0.1808	3189.3
380	0.2108	3214.6	0.1964	3212.8	0.1839	3211.1
390	0.2143	3236.2	0.1997	3234.5	0.1870	3232.8
400	0.2178	3257.7	0.2030	3256.1	0.1900	3254.5
410	0.2212	3279.3	0.2062	3277.7	0.1931	3276.2
420	0.2247	3300.8	0.2095	3299.3	0.1961	3297.9
430	0.2281	3322.3	0.2127	3320.9	0.1992	3319.5
440	0.2316	3343.9	0.2159	3342.6	0.2022	3341.2
450	0.2350	3365.5	0.2191	3364.2	0.2052	3362.9
460	0.2384	3387.1	0.2223	3385.9	0.2082	3384.6
470	0.2419	3408.8	0.2255	3407.6	0.2112	3406.4
480	0.2453	3430.5	0.2287	3429.3	0.2142	3428.1
490	0.2487	3452.2	0.2319	3451.1	0.2172	3449.9
500	0.2521	3474.0	0.2351	3472.9	0.2202	3471.8
510	0.2555	3495.8	0.2383	3494.7	0.2232	3493.7
520	0.2589	3517.6	0.2414	3516.6	0.2262	3515.6
530	0.2623	3539.5	0.2446	3538.6	0.2292	3537.6
540	0.2657	3561.5	0.2478	3560.5	0.2322	3559.6
550	0.2690	3583.5	0.2509	3582.5	0.2351	3581.6
560	0.2724	3605.5	0.2541	3604.6	0.2381	3603.7
570	0.2758	3627.6	0.2572	3626.8	0.2410	3625.9
580	0.2792	3649.8	0.2604	3649.0	0.2440	3648.1
590	0.2825	3672.0	0.2636	3671.2	0.2470	3670.4
600	0.2859	3694.3	0.2667	3693.5	0.2499	3692.7
610	0.2892	3716.6	0.2698	3715.8	0.2529	3715.0
620	0.2926	3738.9	0.2730	3738.2	0.2558	3737.4
630	0.2960	3761.3	0.2761	3760.6	0.2588	3759.8
640	0.2993	3783.8	0.2793	3783.1	0.2617	3782.3
650	0.3027	3806.3	0.2824	3805.6	0.2646	3804.9
	p = 1.7 МПа		p = 1.8 МПа		p = 1.9 МПа	
210	0.1188	2810.3	0.1114	2803.7	0.1047	2797.0
220	0.1225	2838.1	0.1150	2832.3	0.1082	2826.4
230	0.1261	2864.7	0.1184	2859.6	0.1115	2854.3
240	0.1296	2890.4	0.1218	2885.8	0.1148	2881.1
250	0.1329	2915.2	0.1250	2911.1	0.1179	2906.8
260	0.1362	2939.5	0.1281	2935.7	0.1209	2931.8
270	0.1395	2963.3	0.1312	2959.8	0.1239	2956.3
280	0.1427	2986.7	0.1343	2983.4	0.1268	2980.2
290	0.1458	3009.7	0.1373	3006.7	0.1296	3003.7
300	0.1489	3032.4	0.1402	3029.6	0.1325	3026.8
310	0.1520	3054.9	0.1431	3052.3	0.1353	3049.7
320	0.1550	3077.2	0.1460	3074.8	0.1380	3072.3
330	0.1580	3099.4	0.1489	3097.1	0.1407	3094.8
340	0.1610	3121.5	0.1517	3119.3	0.1434	3117.1
350	0.1640	3143.5	0.1546	3141.4	0.1461	3139.3
360	0.1669	3165.4	0.1574	3163.5	0.1488	3161.5
370	0.1699	3187.4	0.1602	3185.6	0.1515	3183.7
380	0.1728	3209.3	0.1629	3207.6	0.1541	3205.8
390	0.1757	3231.2	0.1657	3229.5	0.1567	3227.8
400	0.1786	3253.0	0.1684	3251.3	0.1593	3249.7
410	0.1815	3274.7	0.1712	3273.1	0.1619	3271.6
420	0.1844	3296.4	0.1739	3294.9	0.1645	3293.4
430	0.1872	3318.1	0.1766	3316.7	0.1671	3315.3
440	0.1901	3339.8	0.1793	3338.5	0.1697	3337.1
450	0.1929	3361.6	0.1820	3360.3	0.1723	3359.0

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 1.7 МПа		p = 1.8 МПа		p = 1.9 МПа	
460	0.1958	3383.4	0.1847	3382.1	0.1748	3380.8
470	0.1986	3405.2	0.1874	3403.9	0.1774	3402.7
480	0.2015	3427.0	0.1901	3425.8	0.1799	3424.6
490	0.2043	3448.8	0.1928	3447.7	0.1825	3446.6
500	0.2071	3470.7	0.1954	3469.6	0.1850	3468.5
510	0.2099	3492.6	0.1981	3491.6	0.1875	3490.5
520	0.2127	3514.6	0.2008	3513.6	0.1901	3512.5
530	0.2155	3536.6	0.2034	3535.6	0.1926	3534.6
540	0.2183	3558.6	0.2061	3557.7	0.1951	3556.7
550	0.2211	3580.7	0.2087	3579.8	0.1976	3578.9
560	0.2239	3602.8	0.2114	3602.0	0.2001	3601.1
570	0.2267	3625.0	0.2140	3624.2	0.2026	3623.3
580	0.2295	3647.3	0.2166	3646.4	0.2051	3645.6
590	0.2323	3669.3	0.2193	3668.7	0.2076	3667.9
600	0.2351	3691.9	0.2219	3691.1	0.2101	3690.3
610	0.2379	3714.2	0.2246	3713.5	0.2126	3712.7
620	0.2406	3736.6	0.2272	3735.9	0.2151	3735.1
630	0.2434	3759.1	0.2298	3758.4	0.2176	3757.6
640	0.2462	3781.6	0.2324	3780.9	0.2201	3780.2
650	0.2490	3804.2	0.2351	3803.5	0.2226	3802.8
	p = 2.0 МПа		p = 2.1 МПа		p = 2.2 МПа	
220	0.1021	2820.4	0.09657	2814.2	0.09152	2807.8
230	0.1053	2849.0	0.09972	2843.5	0.09460	2837.9
240	0.1084	2876.3	0.10274	2871.4	0.09754	2866.4
250	0.1115	2902.5	0.1057	2898.2	0.10037	2893.7
260	0.1144	2927.9	0.1085	2924.0	0.10310	2919.9
270	0.1172	2952.7	0.1112	2949.0	0.1058	2945.4
280	0.1200	2976.9	0.1139	2973.5	0.1084	2970.2
290	0.1228	3000.6	0.1166	2997.5	0.1109	2994.4
300	0.1255	3024.0	0.1192	3021.1	0.1134	3018.2
310	0.1282	3047.0	0.1217	3044.4	0.1159	3041.7
320	0.1308	3069.8	0.1243	3067.3	0.1183	3064.8
330	0.1334	3092.4	0.1268	3090.0	0.1207	3087.7
340	0.1360	3114.9	0.1293	3112.6	0.1231	3110.4
350	0.1386	3137.2	0.1317	3135.1	0.1255	3133.0
360	0.1411	3159.5	0.1342	3157.6	0.1278	3155.6
370	0.1436	3181.8	0.1366	3180.0	0.1301	3178.1
380	0.1462	3204.0	0.1390	3202.2	0.1325	3200.4
390	0.1487	3226.1	0.1414	3224.4	0.1348	3222.7
400	0.1512	3248.1	0.1438	3246.5	0.1370	3244.8
410	0.1536	3270.0	0.1461	3268.5	0.1393	3266.9
420	0.1561	3291.9	0.1485	3290.5	0.1416	3289.0
430	0.1586	3313.8	0.1508	3312.4	0.1438	3311.0
440	0.1610	3335.8	0.1532	3334.4	0.1461	3333.0
450	0.1635	3357.7	0.1555	3356.3	0.1483	3355.0
460	0.1659	3379.6	0.1579	3378.3	0.1505	3377.0
470	0.1684	3401.5	0.1602	3400.3	0.1528	3399.1
480	0.1708	3423.5	0.1625	3422.3	0.1550	3421.1
490	0.1732	3445.4	0.1648	3444.3	0.1572	3443.2
500	0.1756	3467.4	0.1671	3466.3	0.1594	3465.2
510	0.1780	3489.5	0.1694	3488.4	0.1616	3487.3
520	0.1804	3511.5	0.1717	3510.5	0.1638	3509.4
530	0.1828	3533.6	0.1740	3532.6	0.1660	3531.6
540	0.1852	3555.8	0.1763	3554.8	0.1682	3553.8
550	0.1876	3578.0	0.1786	3577.0	0.1703	3576.1
560	0.1900	3600.2	0.1808	3599.3	0.1725	3598.4
570	0.1924	3622.5	0.1831	3621.6	0.1747	3620.7
580	0.1948	3644.8	0.1854	3643.9	0.1769	3643.1
590	0.1972	3667.1	0.1876	3666.2	0.1790	3665.5
600	0.1995	3689.5	0.1899	3688.6	0.1812	3687.9

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 2.0 МПа		p = 2.1 МПа		p = 2.2 МПа	
610	0.2019	3711.9	0.1922	3711.1	0.1834	3710.4
620	0.2043	3734.4	0.1945	3733.6	0.1855	3732.9
630	0.2066	3756.9	0.1967	3756.2	0.1877	3755.4
640	0.2090	3779.5	0.1990	3778.8	0.1899	3778.0
650	0.2114	3802.1	0.2012	3801.4	0.1920	3800.7
	p = 2.3 МПа		p = 2.4 МПа		p = 2.5 МПа	
220	0.08690	2801.2	-	-	-	-
230	0.08992	2832.2	0.08561	2826.4	0.08164	2820.4
240	0.09279	2861.4	0.08842	2856.2	0.08439	2851.0
250	0.09554	2889.2	0.09110	2884.6	0.08701	2879.9
260	0.09819	2915.8	0.09368	2911.7	0.08953	2907.5
270	0.10077	2941.6	0.09619	2937.9	0.09197	2934.1
280	0.10328	2966.7	0.09863	2963.3	0.09434	2959.8
290	0.1057	2991.2	0.10101	2988.1	0.09665	2984.9
300	0.1081	3015.3	0.1033	3012.4	0.09822	3009.4
310	0.1105	3039.0	0.1056	3036.2	0.10114	3033.4
320	0.1129	3062.3	0.1079	3059.7	0.10334	3057.1
330	0.1152	3085.3	0.1102	3082.9	0.1055	3080.5
340	0.1175	3108.2	0.1124	3105.9	0.1076	3103.6
350	0.1198	3130.9	0.1146	3128.8	0.1098	3126.6
360	0.1220	3153.6	0.1167	3151.6	0.1119	3149.6
370	0.1243	3176.2	0.1189	3174.3	0.1139	3172.4
380	0.1265	3198.6	0.1210	3196.8	0.1160	3195.0
390	0.1287	3221.0	0.1231	3219.2	0.1180	3217.5
400	0.1309	3243.2	0.1253	3241.5	0.1201	3239.9
410	0.1331	3265.4	0.1274	3263.8	0.1221	3262.2
420	0.1352	3287.5	0.1294	3286.0	0.1241	3284.5
430	0.1374	3309.6	0.1315	3308.1	0.1261	3306.7
440	0.1396	3331.6	0.1336	3330.2	0.1281	3328.9
450	0.1417	3353.7	0.1357	3352.4	0.1301	3351.0
460	0.1438	3375.8	0.1377	3374.5	0.1321	3373.2
470	0.1460	3397.8	0.1398	3396.6	0.1340	3395.4
480	0.1481	3419.9	0.1418	3418.7	0.1360	3417.5
490	0.1502	3442.0	0.1438	3440.9	0.1380	3439.7
500	0.1523	3464.1	0.1459	3463.0	0.1399	3461.9
510	0.1544	3486.3	0.1479	3485.2	0.1419	3484.1
520	0.1566	3508.4	0.1499	3507.4	0.1438	3506.4
530	0.1587	3530.6	0.1519	3529.6	0.1458	3528.7
540	0.1608	3552.9	0.1540	3551.9	0.1477	3551.0
550	0.1628	3575.2	0.1560	3574.2	0.1496	3573.3
560	0.1649	3597.5	0.1580	3596.6	0.1516	3595.7
570	0.1670	3619.8	0.1600	3619.0	0.1535	3618.1
580	0.1691	3642.2	0.1620	3641.4	0.1554	3640.5
590	0.1712	3664.6	0.1640	3663.8	0.1573	3663.0
600	0.1732	3687.1	0.1660	3686.3	0.1592	3685.5
610	0.1753	3709.6	0.1679	3708.8	0.1612	3708.0
620	0.1774	3732.1	0.1699	3731.4	0.1631	3730.6
630	0.1795	3754.7	0.1719	3754.0	0.1650	3753.2
640	0.1815	3777.3	0.1739	3776.6	0.1669	3775.9
650	0.1836	3800.0	0.1759	3799.3	0.1688	3798.6
	p = 2.6 МПа		p = 2.7 МПа		p = 2.8 МПа	
230	0.07796	2814.2	0.07455	2808.0	-	-
240	0.08066	2845.6	0.07721	2840.1	0.07399	2834.5
250	0.08323	2875.1	0.07973	2870.3	0.07647	2865.3
260	0.08570	2903.2	0.08214	2898.9	0.07883	2894.5
270	0.08807	2930.2	0.08445	2926.3	0.08110	2922.3
280	0.09037	2956.3	0.08670	2952.7	0.08329	2949.1
290	0.09262	2981.6	0.08889	2978.4	0.08542	2975.1
300	0.09482	3006.4	0.09103	3003.4	0.08751	3000.4

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 2.6 МПа		p = 2.7 МПа		p = 2.8 МПа	
310	0.09698	3030.7	0.09313	3027.9	0.08955	3025.1
320	0.09911	3054.6	0.09519	3051.9	0.09155	3049.3
330	0.10120	3078.1	0.09722	3075.6	0.09353	3073.2
340	0.10327	3101.3	0.09923	3099.0	0.09547	3096.7
350	0.1053	3124.5	0.10121	3122.3	0.09740	3120.1
360	0.1073	3147.5	0.10318	3145.5	0.09930	3143.4
370	0.1093	3170.4	0.1051	3168.5	0.10118	3166.6
380	0.1113	3193.2	0.1070	3191.3	0.10305	3189.5
390	0.1133	3215.8	0.1089	3214.0	0.1049	3212.3
400	0.1153	3238.3	0.1108	3236.6	0.1067	3234.9
410	0.1172	3260.6	0.1127	3259.0	0.1086	3257.5
420	0.1192	3283.0	0.1146	3281.4	0.1104	3279.9
430	0.1211	3305.2	0.1165	3303.8	0.1122	3302.3
440	0.1230	3327.5	0.1183	3326.1	0.1140	3324.7
450	0.1250	3349.7	0.1202	3348.4	0.1158	3347.0
460	0.1269	3371.9	0.1220	3370.6	0.1176	3369.4
470	0.1288	3394.1	0.1239	3392.9	0.1193	3391.7
480	0.1307	3416.4	0.1257	3415.2	0.1211	3414.0
490	0.1326	3438.6	0.1275	3437.4	0.1229	3436.3
500	0.1344	3460.8	0.1294	3459.7	0.1246	3458.6
510	0.1363	3483.1	0.1312	3482.0	0.1264	3480.9
520	0.1382	3505.4	0.1330	3504.3	0.1281	3503.3
530	0.1401	3527.7	0.1348	3526.7	0.1299	3525.7
540	0.1419	3550.0	0.1366	3549.0	0.1316	3548.1
550	0.1438	3572.4	0.1384	3571.4	0.1333	3570.5
560	0.1456	3594.8	0.1402	3593.8	0.1351	3592.9
570	0.1475	3617.2	0.1420	3616.3	0.1368	3615.4
580	0.1493	3639.7	0.1437	3638.8	0.1385	3638.0
590	0.1512	3662.2	0.1456	3661.3	0.1402	3660.5
600	0.1530	3684.7	0.1473	3683.9	0.1420	3683.1
610	0.1549	3707.2	0.1491	3706.5	0.1437	3705.7
620	0.1567	3729.9	0.1508	3729.1	0.1454	3728.3
630	0.1586	3752.5	0.1526	3751.8	0.1471	3751.0
640	0.1604	3775.2	0.1544	3774.5	0.1488	3773.8
650	0.1622	3797.9	0.1562	3797.2	0.1505	3796.5
	p = 2.9 МПа		p = 3.0 МПа		p = 3.1 МПа	
240	0.07099	2828.8	0.06818	2823.0	0.06554	2817.0
250	0.07343	2860.3	0.07058	2855.2	0.06791	2850.0
260	0.07574	2890.0	0.07286	2885.5	0.07016	2880.8
270	0.07796	2918.3	0.07504	2914.2	0.07230	2910.0
280	0.08011	2945.4	0.07714	2941.8	0.07436	2938.0
290	0.08219	2971.7	0.07918	2968.4	0.07635	2964.9
300	0.08422	2997.3	0.08116	2994.2	0.07829	2991.0
310	0.08621	3022.2	0.08310	3019.3	0.08018	3016.4
320	0.08816	3046.7	0.08500	3044.0	0.08204	3041.3
330	0.09008	3070.7	0.08687	3068.2	0.08386	3065.7
340	0.09198	3094.4	0.08871	3092.1	0.08565	3089.7
350	0.09385	3118.0	0.09053	3115.7	0.08742	3113.5
360	0.09569	3141.4	0.09232	3139.3	0.08917	3137.3
370	0.09752	3164.6	0.09410	3162.7	0.09090	3160.7
380	0.09933	3187.7	0.09586	3185.8	0.09261	3184.0
390	0.10113	3210.5	0.09760	3208.8	0.09432	3207.0
400	0.10291	3233.3	0.09933	3231.6	0.09599	3229.9
410	0.1047	3255.9	0.10105	3254.3	0.09766	3252.7
420	0.1064	3278.4	0.10276	3276.9	0.09932	3275.3
430	0.1082	3300.9	0.1045	3299.4	0.10097	3297.9
440	0.1099	3323.3	0.1061	3321.9	0.10261	3320.5
450	0.1117	3345.7	0.1078	3344.4	0.1042	3343.0
460	0.1134	3368.1	0.1095	3366.8	0.1059	3365.5

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 2.9 МПа		p = 3.0 МПа		p = 3.1 МПа	
470	0.1151	3390.4	0.1112	3389.2	0.1075	3387.9
480	0.1168	3412.8	0.1128	3411.6	0.1091	3410.4
490	0.1185	3435.1	0.1145	3434.0	0.1107	3432.8
500	0.1202	3457.5	0.1161	3456.4	0.1123	3455.3
510	0.1219	3479.9	0.1178	3478.8	0.1139	3477.7
520	0.1236	3502.3	0.1194	3501.2	0.1155	3500.2
530	0.1253	3524.7	0.1210	3523.7	0.1171	3522.7
540	0.1270	3547.1	0.1227	3546.1	0.1186	3545.2
550	0.1287	3569.5	0.1243	3568.6	0.1202	3567.7
560	0.1303	3592.0	0.1259	3591.1	0.1218	3590.2
570	0.1320	3614.6	0.1275	3613.7	0.1234	3612.8
580	0.1336	3637.1	0.1292	3636.3	0.1249	3635.4
590	0.1353	3659.7	0.1308	3658.9	0.1265	3658.0
600	0.1370	3682.3	0.1324	3681.5	0.1280	3680.7
610	0.1387	3704.9	0.1340	3704.1	0.1296	3703.4
620	0.1403	3727.6	0.1356	3726.8	0.1312	3726.1
630	0.1420	3750.3	0.1372	3749.6	0.1327	3748.8
640	0.1436	3773.0	0.1388	3772.3	0.1342	3771.6
650	0.1453	3795.8	0.1404	3795.1	0.1358	3794.4
	p = 3.2 МПа		p = 3.3 МПа		p = 3.4 МПа	
240	0.06306	2810.9	0.06072	2804.7	-	-
250	0.06540	2844.7	0.06305	2839.3	0.06082	2833.8
260	0.06762	2876.2	0.06523	2871.4	0.06298	2866.5
270	0.06973	2905.9	0.06730	2901.6	0.06502	2897.3
280	0.07175	2934.2	0.06929	2930.4	0.06698	2926.5
290	0.07370	2961.5	0.07121	2958.0	0.06886	2954.5
300	0.07560	2987.9	0.07307	2984.7	0.07068	2981.5
310	0.07745	3013.5	0.07488	3010.6	0.07246	3007.6
320	0.07926	3038.6	0.07665	3035.9	0.07419	3033.1
330	0.08104	3063.2	0.07839	3060.6	0.07589	3058.0
340	0.08279	3087.4	0.08010	3085.0	0.07756	3082.6
350	0.08452	3111.3	0.08178	3109.1	0.07920	3106.8
360	0.08622	3135.2	0.08344	3133.2	0.08083	3131.0
370	0.08790	3158.7	0.08508	3156.8	0.08243	3154.8
380	0.08956	3182.1	0.08670	3180.2	0.08401	3178.3
390	0.09121	3205.2	0.08831	3203.5	0.08557	3201.7
400	0.09280	3228.2	0.08990	3226.5	0.08713	3224.8
410	0.09447	3251.1	0.09148	3249.5	0.08867	3247.8
420	0.09609	3273.8	0.09305	3272.3	0.09020	3270.7
430	0.09769	3296.5	0.09461	3295.0	0.09172	3293.5
440	0.09929	3319.1	0.09617	3317.7	0.09323	3316.3
450	0.10087	3341.6	0.09771	3340.3	0.09473	3338.9
460	0.10245	3364.2	0.09924	3362.9	0.09622	3361.6
470	0.1040	3386.7	0.10077	3385.4	0.09771	3384.2
480	0.1056	3409.2	0.10229	3408.0	0.09919	3406.8
490	0.1071	3431.7	0.1038	3430.5	0.10067	3429.4
500	0.1087	3454.2	0.1053	3453.0	0.10213	3451.9
510	0.1102	3476.6	0.1068	3475.6	0.1036	3474.5
520	0.1118	3499.1	0.1083	3498.1	0.1051	3497.1
530	0.1133	3521.6	0.1098	3520.6	0.1065	3519.6
540	0.1149	3544.2	0.1113	3543.2	0.1080	3542.2
550	0.1164	3566.7	0.1128	3565.8	0.1094	3564.8
560	0.1179	3589.3	0.1143	3588.4	0.1108	3587.5
570	0.1194	3611.9	0.1157	3611.0	0.1123	3610.2
580	0.1209	3634.6	0.1172	3633.7	0.1137	3632.8
590	0.1225	3657.2	0.1187	3656.4	0.1151	3655.6
600	0.1240	3679.9	0.1202	3679.1	0.1166	3678.3
610	0.1255	3702.6	0.1216	3701.8	0.1180	3701.0
620	0.1270	3725.3	0.1231	3724.6	0.1194	3723.8
630	0.1285	3748.1	0.1245	3747.3	0.1208	3746.6

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 3.2 МПа		p = 3.3 МПа		p = 3.4 МПа	
640	0.1300	3770.9	0.1260	3770.2	0.1222	3769.4
650	0.1315	3793.7	0.1275	3793.0	0.1237	3792.3
	p = 3.5 МПа		p = 3.6 МПа		p = 3.7 МПа	
250	0.05871	2828.1	0.05671	2822.4	0.05482	2816.5
260	0.06085	2861.6	0.05883	2856.6	0.05692	2851.5
270	0.06287	2892.9	0.06083	2888.5	0.05890	2884.0
280	0.06479	2922.6	0.06273	2918.6	0.06077	2914.6
290	0.06664	2950.9	0.06455	2947.3	0.06256	2943.7
300	0.06843	2978.2	0.06631	2974.9	0.06429	2971.6
310	0.07017	3004.6	0.06802	3001.6	0.06597	2998.6
320	0.07187	3030.3	0.06968	3027.6	0.06761	3024.7
330	0.07354	3055.5	0.07131	3052.9	0.06920	3050.3
340	0.07517	3080.2	0.07291	3077.7	0.07077	3075.3
350	0.07678	3104.6	0.07448	3102.3	0.07231	3100.0
360	0.07836	3128.9	0.07603	3126.8	0.07383	3124.6
370	0.07992	3152.8	0.07756	3150.8	0.07532	3148.8
380	0.08146	3176.4	0.07907	3174.6	0.07680	3172.7
390	0.08300	3199.9	0.08056	3198.1	0.07826	3196.9
400	0.08451	3223.1	0.08204	3221.4	0.07970	3219.7
410	0.08602	3246.2	0.08351	3244.6	0.08114	3243.0
420	0.08751	3269.2	0.08496	3267.7	0.08256	3266.1
430	0.08899	3292.0	0.08641	3290.6	0.08397	3389.1
440	0.09046	3314.8	0.08784	3313.4	0.08537	3312.9
450	0.09192	3337.6	0.08927	3336.2	0.08676	3334.4
460	0.09338	3360.3	0.09069	3359.0	0.08815	3357.7
470	0.09483	3382.9	0.09210	3381.7	0.08953	3380.4
480	0.09627	3405.6	0.09351	3404.4	0.09090	3403.2
490	0.09770	3428.2	0.09491	3427.0	0.09226	3425.9
500	0.09913	3450.8	0.09630	3449.7	0.09362	3448.6
510	0.10056	3473.4	0.09769	3472.3	0.09497	3471.2
520	0.10198	3496.0	0.09907	3495.0	0.09632	3493.9
530	0.1034	3518.6	0.10045	3517.6	0.09767	3516.6
540	0.1048	3541.3	0.10182	3540.3	0.09901	3539.3
550	0.1062	3563.9	0.1032	3563.0	0.10034	3562.0
560	0.1076	3586.6	0.1046	3585.7	0.10167	3584.8
570	0.1090	3609.3	0.1059	3608.4	0.1030	3607.5
580	0.1104	3632.0	0.1073	3631.1	0.1043	3630.3
590	0.1118	3654.7	0.1086	3653.9	0.1056	3653.1
600	0.1132	3677.5	0.1100	3676.7	0.1070	3675.9
610	0.1146	3700.2	0.1113	3699.4	0.1083	3698.7
620	0.1160	3723.0	0.1127	3722.3	0.1096	3721.5
630	0.1173	3745.8	0.1140	3745.1	0.1109	3744.4
640	0.1187	3768.7	0.1154	3768.0	0.1122	3767.3
650	0.1201	3791.6	0.1167	3790.9	0.1135	3790.2
	p = 3.8 МПа		p = 3.9 МПа		p = 4.0 МПа	
250	0.05302	2810.5	0.05130	2804.4	-	-
260	0.05511	2846.3	0.05338	2841.0	0.05174	2835.6
270	0.05706	2879.4	0.05532	2874.8	0.05366	2870.1
280	0.05891	2910.5	0.05715	2906.4	0.05547	2902.2
290	0.06068	2940.0	0.05889	2936.3	0.05719	2932.5
300	0.06238	2968.3	0.06057	2964.9	0.05885	2961.5
310	0.06403	2995.5	0.06220	2992.4	0.06045	2989.2
320	0.06564	3021.9	0.06377	3019.1	0.06200	3016.2
330	0.06721	3047.6	0.06531	3045.0	0.06351	3042.3
340	0.06875	3072.8	0.06682	3070.4	0.06499	3067.9
350	0.07026	3097.7	0.06830	3095.4	0.06645	3093.1
360	0.07174	3122.5	0.06976	3120.3	0.06787	3118.2
370	0.07320	3146.7	0.07119	3144.7	0.06928	3142.7

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 3.8 МПа		p = 3.9 МПа		p = 4.0 МПа	
380	0.07465	3170.7	0.07260	3168.8	0.07066	3166.9
390	0.07670	3195.5	0.07400	3192.7	0.07203	3190.8
400	0.07749	3218.0	0.07538	3216.3	0.07339	3214.5
410	0.07889	3241.3	0.07676	3239.7	0.07473	3238.0
420	0.08028	3264.5	0.07811	3262.9	0.07606	3261.4
430	0.08166	3287.6	0.07946	3286.1	0.07738	3284.6
440	0.08303	3310.6	0.08080	3309.1	0.07869	3307.7
450	0.08439	3333.5	0.08213	3332.1	0.07999	3330.7
460	0.08574	3356.3	0.08345	3355.0	0.08128	3353.7
470	0.08708	3379.1	0.08477	3377.9	0.08257	3376.6
480	0.08842	3401.9	0.08607	3400.7	0.08384	3399.5
490	0.08975	3424.7	0.08737	3423.5	0.08512	3422.3
500	0.09108	3447.4	0.08867	3446.3	0.08638	3445.2
510	0.09240	3470.2	0.08996	3469.1	0.08764	3468.0
520	0.09372	3492.9	0.09125	3491.8	0.08890	3490.8
530	0.09503	3515.6	0.09253	3514.6	0.09015	3513.6
540	0.09634	3538.3	0.09380	3537.3	0.09140	3536.4
550	0.09764	3561.0	0.09507	3560.1	0.09264	3559.2
560	0.09893	3583.8	0.09634	3582.9	0.09387	3582.0
570	0.10023	3606.6	0.09760	3605.8	0.09510	3604.9
580	0.10152	3629.4	0.09886	3628.6	0.09634	3627.7
590	0.1028	3652.2	0.10012	3651.4	0.09756	3650.6
600	0.1041	3675.1	0.10137	3674.2	0.09879	3673.4
610	0.1054	3697.9	0.1026	3697.1	0.10001	3696.3
620	0.1066	3720.7	0.1039	3720.0	0.10123	3719.2
630	0.1079	3743.6	0.1051	3742.9	0.10245	3742.2
640	0.1092	3766.6	0.1064	3765.8	0.1037	3765.1
650	0.1105	3789.5	0.1076	3788.8	0.1049	3788.1
	p = 4.1 МПа		p = 4.2 МПа		p = 4.3 МПа	
260	0.05017	2830.2	0.04867	2824.6	0.04723	2818.9
270	0.05208	2865.3	0.05056	2860.4	0.04912	2855.5
280	0.05387	2898.0	0.05234	2893.7	0.05089	2889.3
290	0.05558	2928.7	0.05403	2924.9	0.05256	2921.0
300	0.05721	2958.0	0.05564	2954.6	0.05415	2951.0
310	0.05878	2986.2	0.05720	2983.0	0.05568	2979.8
320	0.6031	3013.3	0.05870	3010.4	0.05717	3007.4
330	0.06180	3039.6	0.06017	3036.9	0.05861	3034.2
340	0.06325	3065.4	0.06160	3062.9	0.06002	3060.4
350	0.06468	3090.8	0.06300	3088.4	0.06139	3086.1
360	0.06608	3116.0	0.06437	3113.8	0.06275	3111.6
370	0.06746	3140.6	0.06573	3138.6	0.06407	3136.5
380	0.06882	3165.0	0.06706	3163.0	0.06538	3161.1
390	0.07016	3189.0	0.06838	3187.2	0.06667	3185.3
400	0.07149	3212.8	0.06968	3211.1	0.06795	3209.3
410	0.07280	3236.4	0.07097	3234.7	0.06921	3233.1
420	0.07410	3259.8	0.07224	3258.2	0.07047	3256.6
430	0.07540	3283.1	0.07351	3281.6	0.07171	3280.1
440	0.07668	3306.3	0.07476	3304.8	0.07294	3303.4
450	0.07795	3329.4	0.07601	3328.0	0.07416	3326.6
460	0.07921	3352.4	0.07725	3351.1	0.07537	3349.7
470	0.08047	3375.4	0.07848	3374.1	0.07658	3372.8
480	0.08172	3398.3	0.07970	3397.1	0.07778	3395.8
490	0.08297	3421.2	0.08092	3420.0	0.07897	3418.8
500	0.08421	3444.0	0.08213	3442.9	0.08015	3441.8
510	0.08544	3466.9	0.08334	3465.8	0.08133	3464.7
520	0.08667	3489.7	0.08454	3488.7	0.08251	3487.6
530	0.08789	3512.6	0.08574	3511.5	0.08368	3510.5
540	0.08911	3535.4	0.08694	3534.4	0.08485	3533.4
550	0.09032	3558.2	0.08812	3557.2	0.08601	3556.3

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 4.1 МПа		p = 4.2 МПа		p = 4.3 МПа	
560	0.09152	3581.1	0.08929	3580.2	0.08716	3579.2
570	0.09273	3604.0	0.09047	3603.1	0.08832	3602.2
580	0.09394	3626.9	0.09165	3626.0	0.08947	3625.1
590	0.09514	3649.7	0.09282	3648.9	0.09062	3648.1
600	0.09633	3672.6	0.09399	3671.8	0.09176	3671.0
610	0.09753	3695.5	0.09516	3694.8	0.09290	3694.0
620	0.09872	3718.4	0.09633	3717.7	0.09404	3716.9
630	0.09991	3741.4	0.09749	3740.7	0.09518	3739.9
640	0.10110	3764.4	0.09865	3763.7	0.09632	3762.9
650	0.10228	3787.4	0.09981	3786.7	0.09745	3786.0
	p = 4.4 МПа		p = 4.5 МПа		p = 4.6 МПа	
260	0.04585	2813.0	0.04454	2807.1	0.04327	2801.0
270	0.04774	2850.4	0.04641	2845.3	0.04514	2840.1
280	0.04949	2884.9	0.04816	2880.4	0.04688	2875.8
290	0.05115	2917.1	0.04980	2913.1	0.04850	2909.0
300	0.05272	2947.5	0.05136	2943.9	0.05005	2940.3
310	0.05424	2976.5	0.05285	2973.3	0.05153	2970.0
320	0.05570	3004.5	0.05430	3001.5	0.05295	2998.5
330	0.05712	3031.5	0.05570	3028.7	0.05434	3026.0
340	0.05851	3057.8	0.05706	3055.3	0.05568	3052.7
350	0.05986	3083.7	0.05840	3081.3	0.05700	3078.9
360	0.06119	3109.4	0.05971	3107.2	0.05828	3105.0
370	0.06250	3134.4	0.06099	3132.3	0.05955	3130.2
380	0.06378	3159.1	0.06225	3157.1	0.06079	3155.2
390	0.06505	3183.5	0.06350	3181.6	0.06201	3179.8
400	0.06630	3207.6	0.06473	3205.8	0.06322	3204.0
410	0.06754	3231.4	0.06595	3229.7	0.06442	3228.0
420	0.06877	3255.1	0.06715	3253.5	0.06560	3251.9
430	0.06999	3278.6	0.06834	3277.0	0.06677	3275.5
440	0.07119	3301.9	0.06953	3300.5	0.06793	3299.0
450	0.07239	3325.2	0.07070	3323.8	0.06909	3322.4
460	0.07358	3348.4	0.07187	3347.1	0.07023	3345.7
470	0.07476	3371.5	0.07303	3370.3	0.07137	3369.0
480	0.07594	3394.6	0.07418	3393.4	0.07250	3392.2
490	0.07710	3417.6	0.07532	3416.5	0.07362	3415.3
500	0.07827	3440.6	0.07646	3439.5	0.07474	3438.4
510	0.07942	3463.6	0.07760	3462.5	0.07585	3461.4
520	0.08057	3486.8	0.07872	3485.5	0.07696	3484.4
530	0.08172	3509.5	0.07985	3508.5	0.07806	3507.5
540	0.08286	3532.4	0.08097	3531.4	0.07915	3530.5
550	0.08400	3555.4	0.08208	3554.4	0.08024	3553.5
560	0.08513	3578.5	0.08319	3577.4	0.08133	3576.5
570	0.08626	3601.3	0.08429	3600.4	0.08241	3599.5
580	0.08739	3624.3	0.08540	3623.4	0.08350	3622.6
590	0.08851	3647.2	0.08650	3646.4	0.08457	3645.6
600	0.08963	3670.2	0.08760	3669.4	0.08565	3668.6
610	0.09075	3693.2	0.08869	3692.4	0.08672	3691.6
620	0.09186	3716.2	0.08978	3715.4	0.08779	3714.6
630	0.09298	3739.2	0.09087	3738.4	0.08886	3737.7
640	0.09409	3762.2	0.09196	3761.5	0.08992	3760.8
650	0.09520	3785.3	0.09304	3784.6	0.09099	3783.9
	p = 4.7 МПа		p = 4.8 МПа		p = 4.9 МПа	
270	0.04392	2834.8	0.04274	2829.4	0.04162	2824.0
280	0.04565	2871.2	0.04447	2866.6	0.04333	2861.8
290	0.04726	2904.9	0.04607	2900.8	0.04493	2896.6
300	0.04879	2936.6	0.04759	2932.9	0.04644	2929.2
310	0.05026	2966.6	0.04904	2963.3	0.04787	2959.9
320	0.05167	2995.4	0.05043	2992.4	0.04925	2989.3

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 4.7 МПа		p = 4.8 МПа		p = 4.9 МПа	
330	0.05303	3023.2	0.05178	3020.4	0.05058	3017.5
340	0.05436	3050.1	0.05309	3047.5	0.05187	3044.9
350	0.05565	3076.5	0.05437	3074.1	0.05313	3071.6
360	0.05692	3102.7	0.05561	3100.5	0.05436	3098.2
370	0.05816	3128.1	0.05684	3126.0	0.05557	3123.9
380	0.05939	3153.2	0.05804	3151.2	0.05675	3149.2
390	0.06059	3177.9	0.05923	3176.0	0.05792	3174.1
400	0.06178	3202.2	0.06040	3200.5	0.05907	3198.7
410	0.06295	3226.4	0.06155	3224.7	0.06021	3223.0
420	0.06412	3250.3	0.06269	3248.7	0.06133	3247.0
430	0.06527	3274.0	0.06383	3272.4	0.06244	3270.9
440	0.06641	3297.6	0.06495	3296.1	0.06354	3294.6
450	0.06754	3321.0	0.06606	3319.6	0.06464	3318.2
460	0.06866	3344.4	0.06716	3343.1	0.06572	3341.7
470	0.06978	3367.7	0.06826	3366.4	0.06680	3365.1
480	0.07089	3390.9	0.06934	3389.7	0.06787	3388.4
490	0.07199	3414.1	0.07043	3412.9	0.06893	3411.7
500	0.07309	3437.2	0.07150	3436.1	0.06998	3434.9
510	0.07418	3460.3	0.07257	3459.2	0.07103	3458.1
520	0.07526	3483.4	0.07364	3482.3	0.07208	3481.2
530	0.07634	3506.4	0.07470	3505.4	0.07312	3504.4
540	0.07742	3529.5	0.07575	3528.5	0.07416	3527.5
550	0.07849	3552.5	0.07680	3551.5	0.07519	3550.6
560	0.07955	3575.6	0.07784	3574.6	0.07621	3573.7
570	0.08061	3598.6	0.07889	3597.7	0.07723	3596.8
580	0.08167	3621.7	0.07993	3620.8	0.07825	3620.0
590	0.08273	3644.7	0.08096	3643.9	0.07927	3643.1
600	0.08378	3667.8	0.08200	3667.0	0.08028	3666.2
610	0.08484	3690.8	0.08303	3690.0	0.08130	3689.2
620	0.08588	3713.9	0.08406	3713.1	0.08230	3712.3
630	0.08693	3736.9	0.08508	3736.2	0.08331	3735.4
640	0.08797	3760.0	0.08611	3759.3	0.08432	3758.6
650	0.08902	3783.2	0.08713	3782.5	0.08532	3781.8
	p = 5.0 МПа		p = 5.2 МПа		p = 5.4 МПа	
270	0.04053	2818.4	0.03847	2806.8	0.03654	2794.8
280	0.04224	2857.0	0.04018	2847.1	0.03825	2836.8
290	0.04383	2892.4	0.04175	2883.7	0.03981	2874.8
300	0.04532	2925.4	0.04322	2917.7	0.04127	2909.8
310	0.04675	2956.5	0.04462	2949.4	0.04265	2942.5
320	0.04811	2986.2	0.04596	2979.9	0.04397	2973.5
330	0.04942	3014.6	0.04725	3008.9	0.04523	3003.0
340	0.05070	3042.2	0.04849	3036.7	0.04645	3031.5
350	0.05194	3069.2	0.04971	3064.3	0.04763	3059.3
360	0.05316	3095.9	0.05089	3091.3	0.04878	3086.7
370	0.05435	3121.8	0.05204	3117.5	0.04991	3113.1
380	0.05551	3147.2	0.05318	3143.1	0.05102	3139.1
390	0.05666	3172.2	0.05430	3168.4	0.05210	3164.5
400	0.05780	3196.9	0.05541	3193.4	0.05317	3189.7
410	0.05891	3221.3	0.05648	3217.9	0.05422	3214.4
420	0.06002	3245.4	0.05755	3242.2	0.05526	3238.9
430	0.06111	3269.4	0.05861	3266.3	0.05629	3263.2
440	0.06220	3293.2	0.05966	3290.2	0.05731	3287.2
450	0.06327	3316.8	0.06070	3314.0	0.05831	3311.2
460	0.06434	3340.4	0.06173	3337.7	0.05931	3335.0
470	0.06539	3363.8	0.06275	3361.2	0.06030	3358.6
480	0.06644	3387.2	0.06377	3384.7	0.06129	3382.2
490	0.06749	3410.5	0.06478	3408.1	0.06226	3405.7
500	0.06853	3433.8	0.06578	3431.5	0.06323	3429.2
510	0.06956	3457.0	0.06677	3454.8	0.06420	3452.6

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 5.0 МПа		p = 5.2 МПа		p = 5.4 МПа	
520	0.07058	3480.2	0.06777	3478.1	0.06516	3475.9
530	0.07161	3503.4	0.06875	3501.3	0.06611	3499.2
540	0.07262	3526.5	0.06974	3524.6	0.06706	3522.5
550	0.07363	3549.6	0.07071	3547.7	0.06800	3545.8
560	0.07464	3572.8	0.07168	3570.9	0.06894	3569.1
570	0.07564	3596.0	0.07265	3594.2	0.06988	3592.4
500	0.07665	3619.1	0.07362	3617.4	0.07081	3615.6
590	0.07764	3642.2	0.07458	3640.5	0.07174	3638.9
600	0.07864	3665.4	0.07554	3663.7	0.07267	3662.1
610	0.07963	3688.4	0.07650	3686.9	0.07359	3685.3
620	0.08062	3711.6	0.07745	3710.0	0.07452	3708.5
630	0.08161	3734.7	0.07840	3733.2	0.07543	3731.7
640	0.08259	3757.9	0.07935	3756.4	0.07635	3755.0
650	0.08358	3781.1	0.08030	3779.6	0.07727	3778.2
	p = 5.6 МПа		p = 5.8 МПа		p = 6.0 МПа	
280	0.03645	2826.3	0.03476	2815.3	0.03317	2804.0
290	0.03801	2865.6	0.03632	2856.2	0.03473	2846.5
300	0.03946	2901.7	0.03776	2893.4	0.03616	2885.0
310	0.04082	2935.3	0.03910	2927.9	0.03750	2920.4
320	0.04211	2966.9	0.04038	2960.3	0.03876	2953.5
330	0.04335	2997.1	0.04160	2991.0	0.03996	2984.9
340	0.04454	3026.0	0.04277	3020.5	0.04111	3014.9
350	0.04570	3054.2	0.04391	3049.1	0.04223	3043.9
360	0.04683	3082.0	0.04501	3077.2	0.04331	3072.4
370	0.04793	3108.7	0.04608	3104.3	0.04436	3099.8
380	0.04901	3135.0	0.04713	3130.8	0.04538	3126.6
390	0.05006	3160.7	0.04816	3156.8	0.04639	3152.9
400	0.05110	3186.0	0.04918	3182.4	0.04738	3178.6
410	0.05213	3211.0	0.05018	3207.5	0.04835	3204.0
420	0.05314	3235.6	0.05116	3232.3	0.04931	3229.0
430	0.05414	3260.1	0.05213	3256.9	0.05026	3253.8
440	0.05512	3284.3	0.05309	3281.3	0.05119	3278.3
450	0.05610	3308.3	0.05404	3305.5	0.05212	3302.6
460	0.05707	3332.2	0.05498	3329.5	0.05303	3326.8
470	0.05803	3356.0	0.05591	3353.4	0.05394	3350.8
480	0.05898	3379.7	0.05684	3377.2	0.05484	3374.7
490	0.05993	3403.3	0.05776	3400.9	0.05573	3398.5
500	0.06087	3426.9	0.05897	3424.5	0.05662	3422.2
510	0.06180	3450.3	0.05958	3448.1	0.05750	3445.9
520	0.06273	3473.8	0.06048	3471.6	0.05837	3469.5
550	0.06549	3543.8	0.06315	3541.9	0.06096	3540.0
560	0.06640	3567.2	0.06403	3565.4	0.06182	3563.5
570	0.06730	3590.6	0.06491	3588.8	0.06267	3587.0
560	0.06821	3613.9	0.06578	3612.1	0.06352	3610.4
590	0.06911	3637.2	0.06665	3635.5	0.06436	3633.8
600	0.07000	3660.4	0.06752	3658.8	0.06521	3657.2
610	0.07090	3683.7	0.06839	3682.1	0.06604	3680.6
620	0.07179	3707.0	0.06925	3705.4	0.06688	3703.9
630	0.07268	3730.2	0.07011	3728.7	0.06772	3727.2
640	0.07356	3753.5	0.07097	3752.1	0.06855	3750.6
650	0.07445	3776.8	0.07182	3775.4	0.06938	3774.0
	p = 6.2 МПа		p = 6.4 МПа		p = 6.6 МПа	
280	0.03166	2792.1	0.03024	2779.8	-	-
290	0.03324	2836.5	0.03182	2826.2	0.03049	2815.5
300	0.03467	2876.3	0.03325	2867.4	0.03192	2858.2
310	0.03599	2912.7	0.03457	2904.9	0.03324	2896.8
320	0.03724	2946.6	0.03581	2939.6	0.03446	2932.5

Продолжение таблицы XXV

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 6.2 МПа		p = 6.4 МПа		p = 6.6 МПа	
330	0.03842	2978.6	0.03698	2972.3	0.03562	2965.9
340	0.03956	3009.2	0.03810	3003.4	0.03673	2997.5
350	0.04065	3038.6	0.03917	3033.3	0.03779	3027.9
360	0.04171	3067.7	0.04022	3062.7	0.03881	3057.8
370	0.04274	3095.3	0.04123	3090.8	0.03980	3086.2
380	0.04375	3122.4	0.04221	3118.1	0.04077	3113.9
390	0.04473	3148.9	0.04318	3144.9	0.04171	3140.9
400	0.04570	3174.9	0.04412	3171.2	0.04263	3167.4
410	0.04665	3200.5	0.04505	3196.9	0.04354	3193.3
420	0.04758	3225.7	0.04596	3222.2	0.04444	3218.9
430	0.04850	3250.6	0.04686	3247.4	0.04532	3244.2
440	0.04941	3275.2	0.04775	3272.2	0.04618	3269.2
450	0.05032	3299.7	0.04863	3296.8	0.04704	3293.9
460	0.05121	3324.0	0.04950	3321.2	0.04789	3318.4
470	0.05209	3348.1	0.05036	3345.5	0.04873	3342.8
480	0.05296	3372.2	0.05121	3369.6	0.04956	3367.1
490	0.05383	3396.1	0.05205	3393.6	0.05038	3391.2
500	0.05469	3419.9	0.05289	3417.5	0.05120	3415.2
510	0.05555	3443.6	0.05372	3441.3	0.05201	3439.1
520	0.05640	3467.3	0.05455	3465.1	0.05282	3463.0
530	0.05725	3490.9	0.05537	3488.8	0.05362	3486.7
540	0.05809	3514.5	0.05619	3512.5	0.05441	3510.5
550	0.05892	3538.0	0.05700	3536.1	0.05520	3534.2
560	0.05975	3561.6	0.05781	3559.7	0.05599	3557.9
570	0.06058	3585.2	0.05862	3583.3	0.05677	3581.5
580	0.06140	3608.6	0.05942	3606.9	0.05755	3605.1
590	0.06222	3632.1	0.06021	3630.4	0.05833	3628.7
600	0.06304	3655.5	0.06101	3653.9	0.05910	3652.2
610	0.06385	3678.9	0.06180	3677.4	0.05987	3675.8
620	0.06466	3702.3	0.06259	3700.8	0.06064	3699.2
630	0.06547	3725.7	0.06337	3724.2	0.06140	3722.7
640	0.06628	3749.2	0.06416	3747.7	0.06216	3746.2
650	0.06708	3772.6	0.06494	3771.2	0.06292	3769.7
	p = 6.8 МПа		p = 7.0 МПа		p = 7.2 МПа	
290	0.02922	2804.4	0.02801	2792.9	0.02686	2780.9
300	0.03066	2848.8	0.02946	2839.2	0.02832	2829.0
310	0.03197	2888.6	0.03078	2880.2	0.02964	2871.6
320	0.03319	2925.2	0.03199	2917.8	0.03085	2910.2
330	0.03434	2959.3	0.03313	2952.6	0.03198	2945.9
340	0.03543	2991.6	0.03421	2985.5	0.03305	2979.4
350	0.03647	3022.5	0.03524	3017.0	0.03407	3011.4
360	0.03748	3052.7	0.03623	3047.6	0.03505	3042.5
370	0.03846	3081.5	0.03719	3076.8	0.03599	3072.1
380	0.03941	3109.5	0.03812	3105.2	0.03691	3100.7
390	0.04033	3136.9	0.03903	3132.8	0.03780	3128.6
400	0.04124	3163.6	0.03992	3159.7	0.03867	3155.8
410	0.04213	3189.8	0.04079	3186.1	0.03953	3182.5
420	0.04300	3215.5	0.04165	3212.1	0.04036	3208.6
430	0.04386	3240.9	0.04249	3237.7	0.04119	3234.4
440	0.04471	3266.1	0.04332	3263.0	0.04201	3259.9
450	0.04555	3291.0	0.04414	3288.0	0.04281	3285.1
460	0.04637	3315.7	0.04495	3312.8	0.04360	3310.0
470	0.04719	3340.2	0.04575	3337.5	0.04438	3334.8
480	0.04800	3364.5	0.04654	3361.9	0.04516	3359.4
490	0.04881	3388.7	0.04732	3386.3	0.04592	3383.8
500	0.04961	3412.8	0.04810	3410.5	0.04668	3408.1
510	0.05040	3436.8	0.04888	3434.5	0.04744	3432.3
520	0.05118	3460.8	0.04964	3458.6	0.04819	3456.4
530	0.05196	3484.6	0.05040	3482.5	0.04893	3480.4

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 6.8 МПа		p = 7.0 МПа		p = 7.2 МПа	
540	0.05274	3508.4	0.05116	3506.4	0.04967	3504.4
550	0.05351	3532.2	0.05191	3530.2	0.05040	3528.3
560	0.05427	3556.0	0.05266	3554.1	0.05113	3552.2
570	0.05504	3579.7	0.05340	3577.9	0.05186	3576.1
580	0.05580	3603.4	0.05414	3601.6	0.05258	3599.9
590	0.05655	3627.0	0.05488	3625.3	0.05330	3623.6
600	0.05730	3650.6	0.05561	3649.0	0.05401	3647.3
610	0.05805	3674.2	0.05634	3672.6	0.05472	3671.0
620	0.05880	3697.7	0.05707	3696.2	0.05543	3694.6
630	0.05954	3721.2	0.05779	3719.7	0.05614	3718.2
640	0.06028	3744.8	0.05851	3743.3	0.05684	3741.8
650	0.06102	3768.3	0.05923	3766.9	0.05754	3765.5
	p = 7.4 МПа		p = 7.6 МПа		p = 7.8 МПа	
290	0.02575	2768.4	-	-	-	-
300	0.02724	2818.7	0.02620	2808.0	0.02520	2796.9
310	0.02856	2862.7	0.02753	2853.6	0.02654	2844.3
320	0.02977	2902.4	0.02874	2894.5	0.02775	2886.4
330	0.03089	2939.0	0.02985	2931.9	0.02887	2924.8
340	0.03195	2973.2	0.03091	2966.9	0.02991	2960.4
350	0.03296	3005.8	0.03190	3000.0	0.03090	2994.2
360	0.03393	3037.3	0.03286	3032.0	0.03185	3026.7
370	0.03486	3067.3	0.03378	3062.4	0.03276	3057.5
380	0.03576	3096.3	0.03467	3091.8	0.03364	3087.3
390	0.03664	3124.5	0.03554	3120.3	0.03449	3116.1
400	0.03750	3152.0	0.03638	3148.0	0.03532	3144.1
410	0.03834	3178.8	0.03720	3175.1	0.03613	3171.4
420	0.03916	3205.2	0.03801	3201.7	0.03692	3198.2
430	0.03997	3231.2	0.03880	3227.8	0.03770	3224.5
440	0.04076	3256.8	0.03959	3253.6	0.03847	3250.5
450	0.04155	3282.1	0.04036	3279.1	0.03922	3276.1
460	0.04232	3307.2	0.04112	3304.4	0.03997	3301.5
470	0.04309	3332.1	0.04187	3329.4	0.04070	3326.6
480	0.04385	3356.8	0.04261	3354.2	0.04143	3351.6
490	0.04460	3381.3	0.04334	3378.8	0.04215	3376.3
500	0.04534	3405.7	0.04407	3403.3	0.04286	3400.9
510	0.04608	3430.0	0.04479	3427.7	0.04357	3425.4
520	0.04681	3454.2	0.04551	3452.0	0.04427	3449.8
530	0.04754	3478.3	0.04622	3476.2	0.04496	3474.1
540	0.04826	3502.3	0.04692	3500.3	0.04565	3498.3
550	0.04898	3526.3	0.04762	3524.4	0.04634	3522.4
560	0.04969	3550.3	0.04832	3548.4	0.04702	3546.5
570	0.05039	3574.2	0.04901	3572.4	0.04770	3570.6
580	0.05110	3598.1	0.04970	3596.3	0.04837	3594.6
590	0.05180	3621.9	0.05038	3620.2	0.04904	3618.5
600	0.05250	3645.6	0.05106	3644.0	0.04970	3642.3
610	0.05319	3669.4	0.05174	3667.8	0.05037	3666.2
620	0.05388	3693.0	0.05242	3691.5	0.05103	3689.9
630	0.05457	3716.7	0.05309	3715.2	0.05168	3713.7
640	0.05526	3740.3	0.05376	3738.9	0.05234	3737.4
650	0.05594	3764.0	0.05443	3762.6	0.05299	3761.2
	p = 8.0 МПа		p = 8.2 МПа		p = 8.4 МПа	
300	0.02425	2785.4	0.02333	2773.5	0.02244	2760.9
310	0.02560	2834.7	0.02470	2824.8	0.02383	2814.5
320	0.02682	2878.1	0.02592	2869.6	0.02506	2860.9
330	0.02793	2917.5	0.02703	2910.0	0.02617	2902.5
340	0.02897	2953.9	0.02807	2947.3	0.02721	2940.6
350	0.02995	2988.3	0.02904	2982.3	0.02818	2976.2

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 8.0 МПа		p = 8.2 МПа		p = 8.4 МПа	
360	0.03085	3021.3	0.02997	3015.8	0.02910	3010.3
370	0.03179	3052.6	0.03086	3047.6	0.02998	3042.5
380	0.03265	3082.7	0.03171	3078.1	0.03082	3073.4
390	0.03349	3111.8	0.03254	3107.5	0.03164	3103.2
400	0.03431	3140.1	0.03335	3136.1	0.03243	3132.0
410	0.03511	3167.7	0.03413	3163.9	0.03321	3160.1
420	0.03589	3194.7	0.03490	3191.1	0.03396	3187.5
430	0.03665	3221.2	0.03566	3217.8	0.03470	3214.4
440	0.03741	3247.3	0.03640	3244.1	0.03543	3240.9
450	0.03815	3273.1	0.03712	3270.1	0.03615	3267.1
460	0.03888	3298.6	0.03784	3295.8	0.03685	3292.9
470	0.03960	3323.9	0.03855	3321.2	0.03755	3318.4
480	0.04031	3349.0	0.03925	3346.3	0.03824	3343.7
490	0.04102	3373.8	0.03994	3371.3	0.03892	3368.8
500	0.04172	3398.5	0.04062	3396.1	0.03959	3393.7
510	0.04241	3423.1	0.04130	3420.8	0.04025	3418.5
520	0.04309	3447.6	0.04197	3445.4	0.04091	3443.1
530	0.04377	3471.9	0.04264	3469.8	0.04156	3467.7
540	0.04445	3496.2	0.04330	3494.2	0.04221	3492.1
550	0.04512	3520.4	0.04396	3518.4	0.04286	3516.4
560	0.04578	3544.6	0.04461	3542.7	0.04350	3540.8
570	0.04645	3568.7	0.04526	3566.9	0.04413	3565.0
580	0.04710	3592.8	0.04590	3591.0	0.04476	3589.2
590	0.04776	3616.8	0.04654	3615.0	0.04539	3613.3
600	0.04841	3640.7	0.04718	3639.0	0.04601	3637.4
610	0.04906	3664.6	0.04782	3662.9	0.04663	3661.3
620	0.04970	3688.4	0.04845	3686.8	0.04725	3685.3
630	0.05035	3712.2	0.04906	3710.7	0.04786	3709.2
640	0.05099	3736.0	0.04970	3734.5	0.04848	3733.0
650	0.05162	3759.8	0.05032	3758.4	0.04909	3756.9
	p = 8.6 МПа		p = 8.8 МПа		p = 9.0 МПа	
310	0.02300	2804.0	0.02219	2793.1	0.02142	2781.8
320	0.02424	2852.0	0.02344	2842.9	0.02268	2833.5
330	0.02535	2894.7	0.02456	2886.8	0.02381	2878.7
340	0.02638	2933.7	0.02559	2926.7	0.02484	2919.6
350	0.02735	2970.1	0.02655	2963.8	0.02579	2957.5
360	0.02826	3004.7	0.02746	2999.0	0.02669	2993.2
370	0.02913	3037.4	0.02832	3032.2	0.02755	3027.0
380	0.02998	3068.7	0.02915	3063.9	0.02837	3059.1
390	0.03078	3098.8	0.02995	3094.4	0.02916	3090.0
400	0.03156	3127.9	0.03072	3123.8	0.02993	3119.7
410	0.03232	3156.3	0.03148	3152.4	0.03067	3148.5
420	0.03307	3183.9	0.03221	3180.3	0.03139	3176.7
430	0.03380	3211.1	0.03293	3207.6	0.03210	3204.2
440	0.03451	3237.7	0.03364	3234.5	0.03280	3231.2
450	0.03522	3264.0	0.03433	3261.0	0.03348	3257.9
460	0.03591	3290.0	0.03501	3287.1	0.03415	3284.1
470	0.03659	3315.6	0.03568	3312.9	0.03481	3310.1
480	0.03727	3341.1	0.03635	3338.4	0.03546	3335.7
490	0.03794	3366.3	0.03700	3363.7	0.03611	3361.2
500	0.03860	3391.3	0.03765	3388.9	0.03675	3386.4
510	0.03925	3416.2	0.03829	3413.8	0.03738	3411.5
520	0.03990	3440.9	0.03893	3438.7	0.03800	3436.4
530	0.04054	3465.5	0.03955	3463.4	0.03862	3461.2
540	0.04117	3490.0	0.04018	3488.0	0.03923	3485.9
550	0.04180	3514.5	0.04080	3512.5	0.03984	3510.5
560	0.04243	3538.9	0.04141	3537.0	0.04044	3535.0
570	0.04305	3563.2	0.04202	3561.4	0.04104	3559.5
580	0.04367	3587.4	0.04263	3585.7	0.04163	3583.9
590	0.04428	3611.6	0.04323	3609.9	0.04222	3608.2

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 8.6 МПа		p = 8.8 МПа		p = 9.0 МПа	
600	0.04490	3635.7	0.04383	3634.0	0.04281	3632.4
610	0.04550	3659.7	0.04443	3658.1	0.04340	3656.5
620	0.04611	3683.7	0.04502	3682.1	0.04398	3680.6
630	0.04671	3707.6	0.04561	3706.1	0.04456	3704.6
640	0.04731	3731.6	0.04620	3730.1	0.04513	3728.6
650	0.04791	3755.5	0.04678	3754.1	0.04571	3752.6
	p = 9.2 МПа		p = 9.4 МПа		p = 9.6 МПа	
310	0.02067	2770.1	0.01994	2757.7	0.01923	2745.0
320	0.02195	2823.8	0.02124	2813.8	0.02055	2803.6
330	0.02308	2870.5	0.02238	2862.0	0.02170	2853.4
340	0.02411	2912.4	0.02341	2905.0	0.02274	2897.5
350	0.02506	2951.0	0.02436	2944.5	0.02369	2937.9
360	0.02596	2987.4	0.02526	2981.5	0.02458	2975.5
370	0.02681	3021.7	0.02610	3016.3	0.02542	3010.9
380	0.02762	3054.3	0.02691	3049.4	0.02622	3044.4
390	0.02841	3085.5	0.02768	3080.9	0.02699	3076.4
400	0.02916	3115.5	0.02843	3111.3	0.02773	3107.1
410	0.02990	3144.6	0.02915	3140.7	0.02845	3136.8
420	0.03061	3173.0	0.02986	3169.3	0.02914	3165.6
430	0.03131	3200.8	0.03055	3197.3	0.02982	3193.8
440	0.03200	3228.0	0.03123	3224.7	0.03049	3221.4
450	0.03267	3254.8	0.03189	3251.7	0.03114	3248.5
460	0.03333	3281.2	0.03254	3278.2	0.03178	3275.3
470	0.03398	3307.3	0.03318	3304.5	0.03242	3301.6
480	0.03462	3333.1	0.03381	3330.4	0.03304	3327.7
490	0.03525	3358.6	0.03444	3356.1	0.03365	3353.5
500	0.03588	3384.0	0.03505	3381.5	0.03426	3379.1
510	0.03650	3409.2	0.03566	3406.8	0.03486	3404.5
520	0.03711	3434.2	0.03626	3431.9	0.03545	3429.7
530	0.03772	3459.0	0.03686	3456.9	0.03604	3454.7
540	0.03832	3483.8	0.03745	3481.7	0.03662	3479.6
550	0.03892	3508.5	0.03804	3506.5	0.03720	3504.4
560	0.03951	3533.1	0.03862	3531.2	0.03777	3529.2
570	0.04010	3557.6	0.03920	3555.8	0.03833	3553.9
580	0.04068	3582.1	0.03977	3580.3	0.03890	3578.5
590	0.04126	3606.4	0.04034	3604.7	0.03946	3603.0
600	0.04184	3630.7	0.04091	3629.0	0.04001	3627.3
610	0.04241	3654.9	0.04147	3653.2	0.04057	3651.6
620	0.04298	3679.0	0.04203	3677.4	0.04112	3675.9
630	0.04355	3703.1	0.04259	3701.6	0.04166	3700.0
640	0.04412	3727.1	0.04314	3725.7	0.04221	3724.2
650	0.04468	3751.2	0.04369	3749.8	0.04275	3748.3
	p = 9.8 МПа		p = 10.0 МПа		p = 10.5 МПа	
310	0.01853	2731.7	-	-	-	-
320	0.01989	2793.0	0.01924	2782.0	0.01771	2752.8
330	0.02105	2844.5	0.02042	2835.4	0.01893	2811.6
340	0.02209	2889.9	0.02147	2882.1	0.02000	2861.8
350	0.02304	2931.1	0.02242	2924.2	0.02095	2906.5
360	0.02393	2969.5	0.02330	2963.3	0.02184	2947.6
370	0.02477	3005.4	0.02414	2999.9	0.02266	2985.7
380	0.02556	3039.4	0.02492	3034.4	0.02344	3021.5
390	0.02632	3071.8	0.02568	3067.1	0.02418	3055.3
400	0.02705	3102.8	0.02641	3098.5	0.02489	3087.6
410	0.02776	3132.8	0.02711	3128.7	0.02558	3118.6
420	0.02845	3161.9	0.02779	3158.1	0.02624	3148.6
430	0.02912	3190.3	0.02845	3186.7	0.02689	3177.8
440	0.02978	3218.1	0.02910	3214.8	0.02752	3206.4
450	0.03043	3245.4	0.02974	3242.2	0.02814	3234.3

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 9.8 МПа		p = 10.0 МПа		p = 10.5 МПа	
460	0.03106	3272.3	0.03036	3269.3	0.02874	3261.8
470	0.03168	3298.8	0.03098	3296.0	0.02933	3288.8
480	0.03230	3325.0	0.03158	3322.3	0.02992	3315.5
490	0.03290	3350.9	0.03218	3348.3	0.03049	3341.8
500	0.03350	3376.6	0.03277	3374.1	0.03106	3367.9
510	0.03409	3402.1	0.03335	3399.7	0.03162	3393.8
520	0.03467	3427.4	0.03392	3425.1	0.03217	3419.4
530	0.03525	3452.5	0.03449	3450.3	0.03272	3444.9
540	0.03582	3477.5	0.03505	3475.4	0.03326	3470.2
550	0.03639	3502.4	0.03561	3500.4	0.03380	3495.4
560	0.03695	3527.3	0.03616	3525.4	0.03433	3520.5
570	0.03751	3552.0	0.03671	3550.2	0.03486	3545.5
580	0.03806	3576.7	0.03726	3574.9	0.03538	3570.4
590	0.03861	3601.2	0.03780	3599.5	0.03590	3595.1
600	0.03916	3625.6	0.03833	3624.0	0.03641	3619.8
610	0.03970	3650.0	0.03887	3648.4	0.03692	3644.3
600	0.04024	3674.3	0.03940	3672.7	0.03743	3668.8
630	0.04078	3698.5	0.03992	3697.0	0.03794	3693.2
640	0.04131	3722.7	0.04045	3721.2	0.03844	3717.5
650	0.04184	3746.9	0.04097	3745.4	0.03894	3741.8
	p = 11.0 МПа		p = 11.5 МПа		p = 12.0 МПа	
320	0.01625	2720.3	-	-	-	-
330	0.01754	2785.9	0.01624	2758.1	0.01501	2727.6
340	0.01864	2840.4	0.01738	2817.7	0.01620	2793.4
350	0.01961	2888.1	0.01836	2868.7	0.01721	2848.4
360	0.02049	2931.2	0.01925	2914.3	0.01810	2896.6
370	0.02131	2971.1	0.02007	2956.0	0.01893	2940.4
380	0.02208	3008.3	0.02084	2994.7	0.01969	2980.7
390	0.02281	3043.2	0.02156	3030.8	0.02040	3018.1
400	0.02351	3076.4	0.02224	3065.0	0.02108	3053.3
410	0.02418	3108.2	0.02290	3097.7	0.02173	3086.9
420	0.02483	3138.9	0.02354	3129.1	0.02235	3119.1
430	0.02546	3168.8	0.02416	3159.6	0.02296	3150.2
440	0.02607	3197.8	0.02475	3189.2	0.02354	3180.4
450	0.02667	3226.2	0.02534	3218.1	0.02411	3209.9
460	0.02726	3254.1	0.02591	3246.4	0.02467	3238.6
470	0.02784	3281.6	0.02647	3274.2	0.02521	3266.9
480	0.02840	3308.6	0.02702	3301.6	0.02575	3294.6
490	0.02896	3335.3	0.02756	3328.6	0.02627	3322.0
500	0.02951	3361.6	0.02809	3355.3	0.02679	3349.0
510	0.03005	3387.8	0.02861	3381.7	0.02730	3375.6
520	0.03058	3413.7	0.02913	3407.9	0.02780	3402.1
530	0.03111	3439.4	0.02964	3433.8	0.02829	3428.2
540	0.03163	3464.9	0.03014	3459.6	0.02878	3454.2
550	0.03215	3490.3	0.03064	3485.2	0.02926	3480.0
560	0.03266	3515.6	0.03114	3510.7	0.02974	3505.7
570	0.03317	3540.8	0.03163	3536.0	0.03022	3531.3
580	0.03367	3565.8	0.03211	3561.3	0.03068	3556.7
590	0.03417	3590.7	0.03260	3586.3	0.03115	3581.9
600	0.03467	3615.5	0.03307	3611.3	0.03161	3607.0
610	0.03516	3640.2	0.03355	3636.1	0.03207	3632.0
620	0.03565	3664.8	0.03402	3660.8	0.03252	3656.9
630	0.03614	3689.3	0.03449	3685.5	0.03298	3681.6
640	0.03662	3713.8	0.03495	3710.1	0.03343	3706.4
650	0.03710	3738.2	0.03542	3734.6	0.03387	3731.0
	p = 12.5 МПа		p = 13.0 МПа		p = 13.5 МПа	
330	0.01382	2693.4	-	-	-	-
340	0.01508	2767.2	0.01402	2738.8	0.01300	2707.6
350	0.01613	2826.8	0.01511	2804.0	0.01415	2779.7

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 12.5 МПа		p = 13.0 МПа		p = 13.5 МПа	
360	0.01704	2878.2	0.01604	2858.9	0.01511	2838.7
370	0.01786	2924.3	0.01688	2907.5	0.01595	2890.1
380	0.01862	2966.2	0.01764	2951.4	0.01672	2936.0
390	0.01933	3005.0	0.01834	2991.7	0.01742	2977.9
400	0.02001	3041.4	0.01901	3029.3	0.01808	3016.8
410	0.02065	3075.9	0.01964	3064.8	0.01871	3053.4
420	0.02126	3109.0	0.02025	3098.6	0.01931	3088.1
430	0.02185	3140.8	0.02083	3131.1	0.01988	3121.4
440	0.02243	3171.5	0.02139	3162.6	0.02044	3153.4
450	0.02298	3201.5	0.02194	3193.1	0.02097	3184.5
460	0.02353	3230.8	0.02247	3222.8	0.02149	3214.7
470	0.02406	3259.4	0.02299	3251.9	0.02200	3244.3
480	0.02458	3287.5	0.02350	3280.4	0.02250	3273.2
490	0.02509	3315.2	0.02400	3308.5	0.02298	3301.6
500	0.02559	3342.6	0.02448	3336.1	0.02346	3329.6
510	0.02608	3369.5	0.02496	3363.4	0.02393	3357.2
520	0.02657	3396.2	0.02544	3390.3	0.02439	3384.4
530	0.02705	3422.6	0.02590	3417.0	0.02484	3411.3
540	0.02752	3448.8	0.02637	3443.4	0.02529	3438.0
550	0.02799	3474.9	0.02682	3469.7	0.02574	3464.5
560	0.02846	3500.8	0.02727	3495.8	0.02617	3490.8
570	0.02892	3526.5	0.02772	3521.7	0.02661	3516.9
580	0.02937	3552.1	0.02816	3547.5	0.02703	3542.8
590	0.02982	3577.5	0.02859	3573.0	0.02746	3568.6
600	0.03027	3602.7	0.02903	3598.4	0.02788	3594.2
610	0.03071	3627.9	0.02946	3623.7	0.02829	3619.6
620	0.03115	3652.9	0.02988	3648.9	0.02871	3644.9
630	0.03159	3677.8	0.03030	3673.9	0.02912	3670.0
640	0.03202	3702.6	0.03072	3698.9	0.02952	3695.1
650	0.03245	3727.4	0.03114	3723.8	0.02993	3720.1
	p = 14.0 МПа		p = 14.5 МПа		p = 15.0 МПа	
340	0.01201	2672.6	0.01101	2632.3	-	-
350	0.01323	2753.5	0.01235	2725.1	0.01148	2693.8
360	0.01422	2817.4	0.01338	2794.9	0.01258	2771.3
370	0.01508	2871.9	0.01426	2853.0	0.01349	2833.3
380	0.01585	2920.2	0.01504	2903.7	0.01428	2886.7
390	0.01656	2963.8	0.01575	2949.3	0.01500	2934.3
400	0.01722	3004.0	0.01641	2991.0	0.01566	2977.6
410	0.01784	3041.7	0.01703	3029.8	0.01627	3017.7
420	0.01844	3077.4	0.01762	3066.4	0.01685	3055.3
430	0.01900	3111.4	0.01818	3101.3	0.01741	3091.1
440	0.01954	3144.2	0.01872	3134.8	0.01794	3125.2
450	0.02007	3175.8	0.01923	3167.0	0.01845	3158.2
460	0.02058	3206.6	0.01974	3198.3	0.01894	3190.0
470	0.02108	3236.6	0.02022	3228.8	0.01942	3221.0
480	0.02157	3265.9	0.02070	3258.6	0.01989	3251.2
490	0.02204	3294.7	0.02117	3287.8	0.02035	3280.7
500	0.02251	3323.0	0.02162	3316.4	0.02079	3309.7
510	0.02297	3350.9	0.02207	3344.6	0.02123	3338.3
520	0.02342	3378.4	0.02251	3372.5	0.02166	3366.4
530	0.02386	3405.6	0.02294	3399.9	0.02206	3394.1
540	0.02430	3432.5	0.02337	3427.0	0.02250	3421.5
550	0.02473	3459.2	0.02379	3454.0	0.02291	3448.7
560	0.02515	3485.8	0.02420	3480.7	0.02332	3475.6
570	0.02557	3512.1	0.02461	3507.2	0.02372	3502.3
580	0.02599	3538.2	0.02502	3533.5	0.02411	3528.8
590	0.02640	3564.1	0.02542	3559.6	0.02450	3555.1
600	0.02681	3589.8	0.02582	3585.5	0.02489	3581.2
610	0.02722	3615.4	0.02621	3611.2	0.02527	3607.0
620	0.02762	3640.8	0.02660	3636.8	0.02565	3632.8

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 14.0 МПа		p = 14.5 МПа		p = 15.0 МПа	
630	0.02801	3666.1	0.02699	3662.2	0.02603	3658.3
640	0.02841	3691.3	0.02737	3687.6	0.02640	3683.8
650	0.02880	3716.5	0.02775	3712.8	0.02677	3709.1
	p = 15.5 МПа		p = 16.0 МПа		p = 16.5 МПа	
350	0.010636	2658.8	0.009782	2618.5	0.008890	2570.1
360	0.01181	2745.6	0.01107	2717.8	0.010337	2687.4
370	0.01275	2812.4	0.01205	2790.5	0.01137	2767.2
380	0.01356	2869.0	0.01286	2850.6	0.01222	2831.3
390	0.01428	2918.8	0.01360	2902.9	0.01296	2886.4
400	0.01494	2963.8	0.01427	2949.7	0.01363	2935.2
410	0.01556	3005.2	0.01488	2992.5	0.01425	2979.6
420	0.01614	3044.0	0.01546	3032.5	0.01482	3020.7
430	0.01668	3080.6	0.01600	3070.0	0.01536	3059.2
440	0.01721	3115.6	0.01652	3105.8	0.01588	3095.8
450	0.01771	3149.2	0.01702	3140.0	0.01637	3130.8
460	0.01820	3181.6	0.01750	3173.0	0.01685	3164.4
470	0.01867	3213.0	0.01797	3205.0	0.01731	3196.9
480	0.01913	3243.7	0.01842	3236.2	0.01775	3228.5
490	0.01958	3273.7	0.01886	3266.5	0.01819	3259.3
500	0.02002	3303.0	0.01929	3296.3	0.01861	3289.5
510	0.02045	3331.9	0.01971	3325.4	0.01902	3319.0
520	0.02087	3360.3	0.02013	3354.2	0.01943	3348.0
530	0.02128	3388.3	0.02053	3382.4	0.01982	3376.6
540	0.02169	3416.0	0.02093	3410.4	0.02021	3404.8
550	0.02209	3443.4	0.02132	3438.0	0.02060	3432.6
560	0.02249	3470.5	0.02171	3465.4	0.02098	3460.2
570	0.02288	3497.4	0.02209	3492.5	0.02135	3487.6
580	0.02326	3524.1	0.02247	3519.4	0.02172	3514.6
590	0.02364	3550.6	0.02284	3546.0	0.02208	3541.5
600	0.02402	3576.8	0.02321	3572.4	0.02244	3568.0
610	0.02440	3602.8	0.02357	3598.6	0.02280	3594.4
620	0.02477	3628.7	0.02393	3624.6	0.02315	3620.6
630	0.02513	3654.4	0.02429	3650.5	0.02350	3646.5
640	0.02550	3680.0	0.02465	3676.2	0.02385	3672.4
650	0.02586	3705.5	0.02500	3701.8	0.02419	3698.1
	p = 17.0 МПа		p = 17.5 МПа		p = 18.0 МПа	
360	0.009616	2653.6	0.008889	2615.2	0.008135	2569.8
370	0.01072	2742.3	0.010084	2715.7	0.009464	2686.8
380	0.01160	2811.2	0.01100	2790.1	0.010424	2767.8
390	0.01235	2869.3	0.01177	2851.5	0.01122	2833.1
400	0.01303	2920.2	0.01246	2904.9	0.01191	2889.0
410	0.01365	2966.3	0.01308	2952.6	0.01254	2938.7
420	0.01422	3008.6	0.01365	2996.4	0.01311	2983.9
430	0.01476	3048.3	0.01419	3037.1	0.01365	3025.7
440	0.01527	3085.7	0.01470	3075.4	0.01415	3065.0
450	0.01576	3121.4	0.01518	3111.9	0.01463	3102.3
460	0.01623	3155.7	0.01565	3146.8	0.01509	3137.9
470	0.01668	3188.8	0.01610	3180.5	0.01554	3172.1
480	0.01712	3220.8	0.01653	3213.1	0.01597	3205.2
490	0.01755	3252.1	0.01695	3244.7	0.01638	3237.3
500	0.01797	3282.6	0.01736	3275.7	0.01678	3268.7
510	0.01837	3312.4	0.01776	3305.9	0.01718	3299.3
520	0.01877	3341.8	0.01815	3335.5	0.01756	3329.3
530	0.01916	3370.6	0.01853	3364.7	0.01794	3358.7
540	0.01954	3399.1	0.01891	3393.4	0.01831	3387.7
550	0.01992	3427.2	0.01928	3421.8	0.01867	3416.4
560	0.02029	3455.1	0.01964	3449.8	0.01903	3444.7
570	0.02066	3482.6	0.02000	3477.6	0.01938	3472.6

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 17.0 МПа		p = 17.5 МПа		p = 18.0 МПа	
580	0.02102	3509.9	0.02035	3505.1	0.01973	3500.3
590	0.02137	3536.9	0.02070	3532.3	0.02007	3527.7
600	0.02173	3563.6	0.02105	3559.2	0.02041	3554.8
610	0.02207	3590.2	0.02139	3585.9	0.02074	3581.6
620	0.02242	3616.5	0.02172	3612.4	0.02107	3608.2
630	0.02276	3642.6	0.02206	3638.6	0.02140	3634.9
640	0.02310	3668.6	0.02239	3664.8	0.02172	3660.9
650	0.02343	3694.4	0.02272	3690.7	0.02204	3687.0
	p = 18.5 МПа		p = 19.0 МПа		p = 19.5 МПа	
360	0.007303	2511.7	-	-	-	-
370	0.008851	2655.1	0.008238	2619.8	0.007611	2579.4
380	0.009867	2744.2	0.009325	2719.1	0.008795	2692.3
390	0.01068	2813.9	0.010171	2793.9	0.009676	2772.9
400	0.01139	2872.7	0.01089	2855.7	0.010412	2838.2
410	0.01202	2924.3	0.01153	2909.5	0.01106	2894.5
420	0.01260	2971.1	0.01211	2958.0	0.01164	2944.6
430	0.01313	3014.2	0.01264	3002.4	0.01218	2990.4
440	0.01364	3054.4	0.01314	3043.7	0.01268	3032.8
450	0.01411	3092.5	0.01362	3082.6	0.01315	3072.6
460	0.01457	3128.8	0.01407	3119.7	0.01360	3110.4
470	0.01501	3163.7	0.01451	3155.1	0.01403	3146.5
480	0.01543	3197.3	0.01493	3189.3	0.01445	3181.2
490	0.01584	3229.9	0.01533	3222.4	0.01485	3214.8
500	0.01624	3261.7	0.01573	3254.5	0.01524	3247.7
510	0.01663	3292.6	0.01611	3285.9	0.01561	3279.1
520	0.01701	3322.9	0.01648	3316.6	0.01598	3310.2
530	0.01738	3352.7	0.01685	3346.7	0.01634	3340.6
540	0.01774	3382.0	0.01720	3376.2	0.01669	3370.4
550	0.018110	3410.9	0.01756	3405.4	0.01704	3399.9
560	0.01845	3439.4	0.01790	3434.2	0.01738	3428.9
570	0.01880	3467.6	0.01824	3462.6	0.01771	3457.5
580	0.01914	3495.5	0.01857	3490.6	0.01804	3485.8
590	0.01947	3523.0	0.01890	3518.4	0.01836	3513.8
600	0.01980	3550.3	0.01923	3545.9	0.01868	3541.4
610	0.02013	3577.4	0.01955	3573.1	0.01900	3568.8
620	0.02045	3604.1	0.01986	3600.0	0.01931	3595.8
630	0.02077	3630.7	0.02018	3626.7	0.01962	3622.7
640	0.02109	3657.1	0.02049	3653.2	0.01992	3649.4
650	0.02140	3683.3	0.02080	3679.6	0.02022	3675.9
	p = 20.0 МПа		p = 20.5 МПа		p = 21.0 МПа	
370	0.006951	2531.3	0.006208	2468.8	0.005128	2355.6
380	0.008273	2663.2	0.007755	2631.4	0.007233	2596.2
390	0.009197	2750.8	0.008731	2727.5	0.008276	2702.8
400	0.009952	2820.1	0.009508	2801.2	0.009080	2781.6
410	0.01061	2879.0	0.010174	2862.9	0.009758	2846.4
420	0.01119	2931.0	0.01077	2917.0	0.010358	2902.7
430	0.01173	2978.1	0.01131	2965.6	0.01090	2952.9
440	0.01223	3021.7	0.01181	3010.4	0.01140	2998.9
450	0.01270	3062.4	0.01228	3052.1	0.01187	3041.7
460	0.01315	3101.0	0.01272	3091.5	0.01232	3081.9
470	0.01358	3137.8	0.01315	3129.0	0.01274	3120.0
480	0.01399	3173.1	0.01356	3164.8	0.01314	3156.6
490	0.01439	3207.2	0.01395	3199.4	0.01353	3191.7
500	0.01477	3240.2	0.01433	3232.9	0.01391	3225.6
510	0.01514	3272.3	0.01470	3265.5	0.01427	3258.6
520	0.01551	3303.7	0.01506	3297.2	0.01463	3290.7
530	0.01586	3364.4	0.01540	3328.3	0.01497	3322.1
540	0.01621	3364.6	0.01575	3358.7	0.01531	3352.9
550	0.01655	3394.3	0.01608	3388.7	0.01564	3383.1

Продолжение таблицы XXV

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 20.0 МПа		p = 20.5 МПа		p = 21.0 МПа	
560	0.01688	3423.6	0.01641	3418.2	0.01596	3412.9
570	0.01721	3452.4	0.01674	3447.3	0.01628	3442.2
580	0.01753	3480.9	0.01705	3476.0	0.01659	3471.1
590	0.01785	3509.1	0.01736	3504.4	0.01690	3499.7
600	0.01816	3536.9	0.01767	3532.4	0.01720	3527.9
610	0.01847	3564.4	0.01798	3560.1	0.01750	3555.8
620	0.01878	3591.7	0.01828	3587.5	0.01780	3583.3
630	0.01908	3618.7	0.01857	3614.7	0.01809	3610.7
640	0.01938	3645.5	0.01886	3641.6	0.01838	3637.8
650	0.01968	3672.1	0.01915	3668.4	0.01866	3664.6
	p = 21.5 МПа		p = 22.0 МПа		p = 22.5 МПа	
380	0.006700	2556.3	0.006142	2509.6	0.005532	2452.0
390	0.007830	2676.5	0.007390	2648.2	0.006953	2617.6
400	0.008665	2761.1	0.008262	2739.7	0.007869	2717.2
410	0.009358	2829.4	0.008971	2811.8	0.008598	2793.6
420	0.009964	2887.9	0.009586	2872.8	0.009222	2857.4
430	0.01051	2939.9	0.010137	2926.6	0.009778	2913.1
440	0.01101	2987.2	0.01064	2975.4	0.010284	2963.3
450	0.01148	3031.0	0.01111	3020.3	0.01075	3009.3

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 21.5 МПа		p = 22.0 МПа		p = 22.5 МПа	
460	0.01192	3072.1	0.01155	3062.2	0.01119	3052.2
470	0.01234	3111.0	0.01197	3101.9	0.01161	3092.7
480	0.01275	3148.2	0.01237	3139.7	0.01201	3131.1
490	0.01313	3183.8	0.01275	3175.9	0.01239	3167.9
500	0.01350	3218.2	0.01312	3210.8	0.01275	3203.3
510	0.01386	3251.6	0.01348	3244.6	0.01310	3237.6
520	0.01421	3284.1	0.01382	3277.5	0.01345	3270.9
530	0.01456	3315.9	0.01416	3309.6	0.01378	3303.3
540	0.01489	3346.9	0.01449	3341.0	0.01411	3335.0
550	0.01522	3377.5	0.01481	3371.8	0.01443	3366.1
560	0.01554	3407.5	0.01513	3402.1	0.01474	3396.6
570	0.01585	3437.0	0.01544	3431.9	0.01504	3426.7
580	0.01616	3466.2	0.01574	3461.2	0.01534	3456.3
590	0.01646	3495.0	0.01604	3490.2	0.01563	3485.5
600	0.01676	3523.4	0.01638	3518.8	0.01592	3514.2
610	0.01705	3551.4	0.01662	3547.0	0.01621	3542.7
620	0.01734	3579.2	0.01690	3575.0	0.01649	3570.8
630	0.01763	3606.6	0.01718	3602.6	0.01677	3598.5
640	0.01791	3633.9	0.01746	3630.0	0.01704	3626.0
650	0.01819	3660.9	0.01774	3657.1	0.01731	3653.4

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

Таблица XXVI

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 23 МПа		p = 24 МПа		p = 25 МПа			p = 23 МПа		p = 24 МПа		p = 25 МПа	
0	0.0009890	23.1	0.0009885	24.1	0.0009881	25.1	570	0.01466	3421.5	0.01395	3411.0	0.01330	3400.5
10	0.0009897	64.2	0.0009892	65.1	0.0009888	66.1	580	0.01496	3451.3	0.01424	3441.3	0.01358	3431.2
20	0.0009916	105.3	0.0009912	106.2	0.0009907	107.1	590	0.01525	3480.7	0.01452	3471.1	0.01386	3461.5
30	0.0009944	146.5	0.0009940	147.4	0.0009935	148.2	600	0.01553	3509.7	0.01480	3500.5	0.01413	3491.2
40	0.0009979	187.7	0.0009975	188.6	0.0009971	189.4	610	0.01581	3538.3	0.01507	3529.4	0.01439	3520.7
50	0.0010022	229.0	0.0010018	229.8	0.0010013	230.7	620	0.01609	3566.5	0.01534	3558.0	0.01465	3549.5
60	0.0010070	270.3	0.0010066	271.1	0.0010062	272.0	630	0.01636	3594.5	0.01561	3586.3	0.01491	3578.1
70	0.0010125	311.7	0.0010121	312.5	0.0010116	313.3	640	0.01663	3622.1	0.01587	3614.3	0.01517	3606.4
80	0.0010185	353.2	0.0010181	354.0	0.0010177	354.8	650	0.01690	3649.6	0.01613	3642.0	0.01542	3634.4
90	0.0010251	394.7	0.0010247	395.5	0.0010242	396.2	660	0.01716	3676.8	0.01638	3669.5	0.01567	3662.2
100	0.0010322	436.3	0.0010318	437.1	0.0010313	437.8	670	0.01742	3703.9	0.01664	3696.8	0.01591	3689.7
110	0.0010399	478.0	0.0010394	478.8	0.0010389	479.5	680	0.01768	3730.8	0.01689	3724.0	0.01615	3717.1
120	0.0010481	519.0	0.0010476	520.6	0.0010470	521.3	690	0.01794	3757.6	0.01713	3751.1	0.01639	3744.4
130	0.0010568	561.9	0.0010563	562.6	0.0010557	563.3	700	0.01819	3784.3	0.01738	3777.9	0.01663	3771.5
140	0.0010661	604.0	0.0010656	604.7	0.0010650	605.4	710	0.01844	3811.0	0.01762	3804.8	0.01687	3798.6
150	0.0010760	646.4	0.0010754	647.0	0.0010748	647.7	720	0.01869	3837.6	0.01786	3831.6	0.01710	3825.5
160	0.0010866	688.9	0.0010659	689.5	0.0010853	690.2	730	0.01894	3864.2	0.01810	385ₒ.3	0.01733	3852.4
170	0.0010978	731.7	0.0010971	732.3	0.0010964	732.9	740	0.01919	3890.7	0.01834	3885.0	0.01756	3879.3
180	0.0011097	774.8	0.0011090	775.3	0.0011082	775.9	750	0.01943	3917.2	0.01858	3911.7	0.01779	3906.1
190	0.0011225	818.1	0.0011217	818.7	0.0011208	819.2							
								p = 26 МПа		p = 27 МПа		p = 28 МПа	
200	0.0011360	861.8	0.0011352	862.3	0.0011343	862.8							
210	0.0011505	905.9	0.0011496	906.3	0.0011486	906.8	0	0.0009876	26.1	0.0009871	27.1	0.0009866	28.0
220	0.0011661	950.4	0.0011651	950.8	0.0011640	951.2	10	0.0009884	67.0	0.0009879	68.0	0.0009875	68.9
230	0.0011828	995.4	0.0011817	995.8	0.0011805	996.1	20	0.0009903	108.0	0.0009899	109.0	0.0009894	109.9
240	0.0012008	1041.0	0.0011996	1041.2	0.0011983	1041.5	30	0.0009931	149.3	0.0009927	150.0	0.0009922	150.9
250	0.0012203	1087.2	0.0012189	1087.4	0.0012175	1087.5	40	0.0009967	190.3	0.0009963	191.2	0.0009959	192.1
260	0.0012416	1134.2	0.0012400	1134.2	0.0012384	1134.3	50	0.0010009	231.5	0.0010005	232.4	0.0010001	233.2
270	0.0012648	1182.0	0.0012630	1182.0	0.0012612	1181.9	60	0.0010058	272.8	0.0010054	273.6	0.0010049	274.5
280	0.0012905	1230.9	0.0012883	1230.7	0.0012863	1230.5	70	0.0010112	314.1	0.0010108	315.0	0.0010104	315.8
290	0.0013191	1281.0	0.0013166	1280.7	0.0013141	1280.3	80	0.0010172	355.6	0.0010168	356.3	0.0010163	357.1
300	0.0013512	1332.6	0.0013482	1332.1	0.0013453	1331.5	90	0.0010237	397.0	0.0010233	397.8	0.0010228	398.6
310	0.0013878	1386.2	0.0013842	1385.3	0.0013806	1384.4	100	0.0010308	438.6	0.0010303	439.3	0.0010299	440.1
320	0.0014304	1442.1	0.0014258	1440.8	0.0014214	1439.6	110	0.0010384	480.2	0.0010379	481.0	0.0010374	481.7
330	0.0014809	1501.2	0.0014750	1499.4	0.0014693	1497.6	120	0.0010465	522.0	0.0010460	522.8	0.0010455	523.5
340	0.0015429	1564.7	0.0015348	1562.0	0.0015271	1559.5	130	0.0010552	564.0	0.0010546	564.6	0.0010541	565.4
350	0.001623	1634.1	0.001611	1630.1	0.001600	1626.4	140	0.0010644	606.0	0.0010638	606.7	0.0010633	607.4
360	0.001736	1714.1	0.001716	1707.3	0.001698	1701.3	150	0.0010742	648.3	0.0010736	649.0	0.0010730	649.6
370	0.001943	1821.0	0.001889	1804.8	0.001849	1792.3	160	0.0010846	690.8	0.0010840	691.4	0.0010834	692.0
380	0.004812	2373.2	0.002601	2028.0	0.002218	1939.5	170	0.0010957	733.5	0.0010950	734.1	0.0010944	734.7
390	0.006515	2584.2	0.005619	2505.3	0.004649	2400.3	180	0.0011075	776.4	0.0011068	777.0	0.0011060	777.6
400	0.007485	2693.6	0.006738	2642.0	0.006009	2583.2	190	0.0011200	819.7	0.0011193	820.2	0.0011185	820.7
410	0.008236	2774.7	0.007544	2734.7	0.006886	2691.3	200	0.0011334	863.3	0.0011326	863.8	0.0011317	864.2
420	0.008871	2841.4	0.008205	2808.2	0.007579	2773.0	210	0.0011477	907.2	0.0011468	907.6	0.0011459	908.1
430	0.009432	2899.2	0.008779	2870.6	0.008169	2840.6	220	0.0011630	951.6	0.0011620	952.0	0.0011610	952.3
440	0.009941	2951.0	0.009294	2925.7	0.008693	2899.4	230	0.0011794	996.4	0.0011783	996.7	0.0011772	997.0
450	0.01041	2998.2	0.009766	2975.5	0.009168	2952.1	240	0.0011970	1041.8	0.0011958	1042.0	0.0011946	1042.3
460	0.01085	3042.1	0.010204	3021.5	0.009607	3000.3	250	0.0012161	1087.7	0.0012147	1087.9	0.0012134	1088.1
470	0.01126	3083.4	0.01062	3064.4	0.010018	3045.0	260	0.0012368	1134.4	0.0012352	1134.5	0.0012337	1134.5
480	0.01166	3122.5	0.01101	3104.9	0.01041	3087.0	270	0.0012594	1184.9	0.0012576	1181.9	0.0012559	1181.9
490	0.01204	3159.9	0.01138	3143.5	0.01078	3126.9	280	0.0012842	1230.4	0.0012822	1230.2	0.0012802	1230.1
500	0.01240	3195.8	0.01174	3180.5	0.01113	3165.0	290	0.0013117	1280.0	0.0013093	1279.7	0.0013081	1279.5
510	0.01275	3230.5	0.01208	3216.2	0.01147	3201.6	300	0.0013424	1330.9	0.0013395	1330.4	0.0013368	1329.9
520	0.01309	3264.2	0.01242	3250.7	0.01180	3237.0	310	0.0013771	1383.6	0.0013738	1382.9	0.0013705	1382.1
530	0.01342	3297.0	0.01274	3284.2	0.01211	3271.3	320	0.0014171	1438.4	0.0014129	1437.3	0.0014088	1436.3
540	0.01374	3329.0	0.01305	3316.9	0.01242	3304.7	330	0.0014638	1496.0	0.0014585	1494.4	0.0014534	1492.9
550	0.01406	3360.4	0.01336	3348.9	0.01272	3337.3	340	0.0015198	1557.2	0.0015128	1555.0	0.0015062	1552.9
560	0.01436	3391.2	0.01366	3380.2	0.01301	3369.2	350	0.001590	1623.0	0.001580	1619.8	0.001571	1616.8

Продолжение таблицы XXVI

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 26 МПа		p = 27 МПа		p = 28 МПа			p = 29 МПа		p = 30 МПа		p = 31 МПа	
360	0.001681	1696.0	0.001667	1691.1	0.001653	1686.6	170	0.0010937	735.2	0.0010930	735.8	0.0010923	736.4
370	0.001817	1782.1	0.001790	1773.4	0.001766	1765.8	180	0.0011053	778.1	0.0011046	778.7	0.0011039	779.2
380	0.002087	1904.6	0.002008	1882.2	0.001951	1865.5	190	0.0011177	821.3	0.0011169	821.8	0.0011162	822.3
390	0.003568	2250.6	0.002745	2103.2	0.002404	2028.4	200	0.0011309	864.7	0.0011300	865.2	0.0011292	865.7
400	0.005287	2514.9	0.004564	2433.9	0.003857	2339.3	210	0.0011450	908.5	0.0011440	909.0	0.0011431	909.4
410	0.006258	2643.8	0.005653	2591.4	0.005069	2533.4	220	0.0011600	952.7	0.0011590	953.1	0.0011580	953.5
420	0.006990	2735.5	0.006432	2695.4	0.005901	2652.5	230	0.0011761	997.4	0.0011750	997.7	0.0011739	998.1
430	0.007599	2809.2	0.007064	2776.2	0.006559	2741.4	240	0.0011934	1042.5	0.0011922	1042.8	0.0011910	1043.1
440	0.008132	2872.2	0.007609	2843.8	0.007117	2814.3	250	0.0012120	1088.3	0.0012107	1088.5	0.0012094	1088.7
450	0.008612	2927.2	0.008095	2903.0	0.007610	2877.2	260	0.0012322	1134.7	0.0012307	1134.8	0.0012292	1134.9
460	0.009053	2978.5	0.008538	2956.1	0.008057	2933.2	270	0.0012542	1181.9	0.0012525	1181.9	0.0012508	1181.9
470	0.009464	3025.2	0.008948	3004.9	0.008468	2984.1	280	0.0012782	1230.0	0.0012762	1229.9	0.0012743	1229.8
480	0.009850	3068.8	0.009333	3050.2	0.008852	3031.2	290	0.0013047	1279.1	0.0013024	1278.8	0.0013002	1278.6
490	0.010216	3110.0	0.009696	3092.8	0.009213	3075.4	300	0.0013341	1329.5	0.0013315	1329.0	0.0013289	1328.6
500	0.01056	3149.3	0.010042	3133.3	0.009556	3117.1	310	0.0013672	1381.4	0.0013641	1380.8	0.0013610	1380.1
510	0.01090	3186.9	0.01037	3172.0	0.009884	3156.8	320	0.0014049	1435.3	0.0014010	1434.3	0.0013973	1433.4
520	0.01122	3223.2	0.01069	3209.2	0.010198	3195.0	330	0.0014485	1491.5	0.0014437	1490.2	0.0014390	1488.9
530	0.01153	3258.2	0.01100	3245.0	0.01050	3231.7	340	0.0014998	1550.9	0.0014937	1549.0	0.0014878	1547.2
540	0.01184	3292.3	0.01130	3279.9	0.01079	3267.3	350	0.001562	1614.0	0.001554	1611.3	0.001546	1608.8
550	0.01213	3325.6	0.01159	3313.8	0.01108	3301.8	360	0.001641	1682.4	0.001629	1678.6	0.001618	1675.0
560	0.01242	3358.0	0.01187	3346.8	0.01136	3335.5	370	0.001746	1759.1	0.001727	1753.1	0.001711	1747.7
570	0.01270	3389.8	0.01214	3379.1	0.01163	3368.4	380	0.001908	1852.3	0.001872	1841.3	0.001842	1831.9
580	0.01297	3421.1	0.01241	3410.8	0.01189	3400.6	390	0.002238	1987.3	0.002135	1960.0	0.002062	1939.7
590	0.01324	3451.8	0.01267	3442.0	0.01215	3432.2	400	0.003240	2240.6	0.002806	2159.1	0.002540	2102.3
600	0.01351	3481.9	0.01293	3472.6	0.01240	3463.2	410	0.004509	2469.4	0.003984	2400.4	0.003517	2329.9
610	0.01377	3511.7	0.01318	3502.7	0.01264	3493.7	420	0.005397	2606.4	0.004919	2557.2	0.004470	2505.2
620	0.01402	3541.0	0.01343	3532.4	0.01289	3523.8	430	0.006063	2704.8	0.005633	2666.4	0.005209	2626.1
630	0.01427	3569.9	0.01368	3561.6	0.01313	3553.4	440	0.006656	2783.6	0.006221	2751.7	0.005812	2718.6
640	0.01452	3598.5	0.01392	3590.6	0.01336	3582.6	450	0.007156	2850.6	0.006730	2823.1	0.006330	2794.8
650	0.01476	3626.8	0.01416	3619.1	0.01360	3611.4	460	0.007607	2909.6	0.007185	2885.4	0.006789	2860.5
660	0.01500	3654.8	0.01439	3647.4	0.01383	3640.0	470	0.008019	2962.9	0.007599	2941.2	0.007205	2919.0
670	0.01524	3682.6	0.01462	3675.5	0.01405	3668.4	480	0.008402	3011.9	0.007982	2992.2	0.007588	2972.1
680	0.01548	3710.2	0.01485	3703.4	0.01427	3696.5	490	0.008762	3057.6	0.008341	3039.5	0.007946	3021.1
690	0.01571	3737.7	0.01508	3731.1	0.01449	3724.4	500	0.009103	3100.6	0.008679	3083.9	0.008283	3067.0
700	0.01594	3765.1	0.01531	3758.6	0.01471	3752.2	510	0.009428	3141.5	0.009001	3126.0	0.008602	3110.3
710	0.01617	3792.3	0.01553	3786.1	0.01493	3779.8	520	0.009738	3180.6	0.009309	3166.1	0.008907	3151.5
720	0.01640	3819.5	0.01575	3813.4	0.01514	3807.4	530	0.010037	3218.2	0.009604	3204.6	0.009199	3190.9
730	0.01662	3846.6	0.01597	3840.7	0.01536	3834.9	540	0.01033	3254.6	0.009889	3241.7	0.009480	3228.8
740	0.016852	3873.6	0.01618	3868.0	0.01557	3862.3	550	0.01061	3289.8	0.010165	3277.7	0.009753	3265.5
750	0.01707	3900.6	0.01640	3895.1	0.01578	3889.6	560	0.01088	3324.1	0.01043	3312.6	0.010016	3301.0
	p = 29 МПа		p = 30 МПа		p = 31 МПа		570	0.01114	3357.5	0.01069	3346.6	0.01027	3335.6
							580	0.01140	3390.2	0.01095	3379.8	0.01052	3369.3
0	0.0009862	29.0	0.0009857	30.0	0.0009852	31.0	590	0.01165	3422.3	0.01120	3412.3	0.01076	3402.4
10	0.0009870	69.9	0.0009866	70.8	0.0009862	71.8	600	0.01190	3453.7	0.01144	3444.2	0.01100	3434.7
20	0.0009890	110.8	0.0009886	111.7	0.0009882	112.6	610	0.01214	3484.7	0.01167	3475.6	0.01124	3466.4
30	0.0009919	151.8	0.0009915	152.7	0.0009911	153.6							
40	0.0009955	192.9	0.0009950	193.8	0.0009946	194.7	620	0.01238	3515.1	0.01191	3506.4	0.01147	3497.6
							630	0.01261	3545.0	0.01214	3536.7	0.01169	3528.3
50	0.0009997	234.1	0.0009993	235.0	0.0009989	235.8	640	0.01284	3574.6	0.01236	3566.5	0.01191	3558.5
60	0.0010045	275.3	0.0010041	276.1	0.0010037	277.0	650	0.01307	3603.8	0.01258	3596.0	0.01213	3588.3
70	0.0010099	316.6	0.0010095	317.4	0.0010091	318.2	660	0.01330	3632.6	0.01280	3625.2	0.01234	3617.7
80	0.0010159	357.9	0.0010155	358.7	0.0010150	359.5							
90	0.0010224	399.4	0.0010219	400.1	0.0010215	400.9	670	0.01352	3661.2	0.01302	3654.0	0.01255	3646.8
							680	0.01373	3689.6	0.01323	3682.6	0.01276	3675.7
100	0.0010294	440.9	0.0010289	441.6	0.0010285	442.4	690	0.01395	3717.7	0.01344	3711.0	0.01296	3704.3
110	0.0010369	482.5	0.0010364	483.2	0.0010360	483.9	700	0.01416	3745.7	0.01365	3739.2	0.01317	3732.8
120	0.0010450	524.2	0.0010445	524.9	0.0010440	525.6	710	0.01437	3773.6	0.01385	3767.3	0.01337	3761.1
130	0.0010536	566.0	0.0010530	566.7	0.0010525	567.4							
140	0.0010627	608.1	0.0010621	608.7	0.0010616	609.4	720	0.01458	3801.3	0.01406	3795.3	0.01357	3789.2
							730	0.01479	3829.0	0.01426	3823.1	0.01376	3817.2
150	0.0010724	650.2	0.0010718	650.9	0.0010712	651.6	740	0.01499	3856.6	0.01446	3850.9	0.01396	3845.2
160	0.0010827	692.5	0.0010821	693.3	0.0010815	693.9	750	0.01520	3884.1	0.01466	3878.6	0.01415	3873.0

Продолжение таблицы XXVI

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 32 МПа		p = 33 МПа		p = 34 МПа			p = 32 МПа		p = 33 МПа		p = 34 МПа	
0	0.0009848	32.0	0.0009843	32.9	0.0009839	33.9	590	0.01036	3392.3	0.009985	3382.2	0.009630	3372.1
10	0.0009857	72.7	0.0009853	73.6	0.0009849	74.6	600	0.01060	3425.1	0.010215	3415.5	0.009856	3405.8
20	0.0009878	113.6	0.0009874	114.5	0.0009869	115.4	610	0.01083	3457.3	0.01044	3448.1	0.010078	3438.8
30	0.0009906	154.5	0.0009902	155.4	0.0009898	156.3	620	0.01105	3488.8	0.01066	3480.0	0.01029	3471.2
40	0.0009942	195.6	0.0009938	196.4	0.0009934	197.3	630	0.01127	3519.9	0.01088	3511.4	0.01051	3503.0
50	0.0009985	236.6	0.0009981	237.5	0.0009977	238.4	640	0.01149	3550.4	0.01109	3542.3	0.01072	3534.2
60	0.0010033	277.8	0.0010029	278.6	0.0010025	279.5	650	0.01170	3580.5	0.01130	3572.7	0.01092	3564.9
70	0.0010087	319.0	0.0010083	319.8	0.0010078	320.7	660	0.01191	3610.2	0.01150	3602.7	0.01112	3595.2
80	0.0010146	360.3	0.0010142	361.1	0.0010137	361.9	670	0.01212	3639.6	0.01170	3632.4	0.01132	3625.2
90	0.0010210	401.7	0.0010206	402.5	0.0010202	403.2	680	0.01232	3668.7	0.01190	3661.8	0.01151	3654.8
100	0.0010280	443.1	0.0010276	443.9	0.0010271	444.6	690	0.01252	3697.6	0.01210	3690.9	0.01171	3684.2
110	0.0010355	484.7	0.0010350	485.4	0.0010345	486.2	700	0.01272	3726.3	0.01230	3719.8	0.01190	3713.3
120	0.0010435	526.3	0.0010430	527.1	0.0010425	527.8	710	0.01291	3754.8	0.01249	3748.5	0.01209	3742.2
130	0.0010520	568.1	0.0010514	568.8	0.0010509	569.5	720	0.01311	3783.1	0.01268	3777.1	0.01227	3771.0
140	0.0010610	610.1	0.0010605	610.8	0.0010599	611.4	730	0.01330	3811.4	0.01286	3805.5	0.01246	3799.6
150	0.0010706	652.2	0.0010700	652.8	0.0010695	653.5	740	0.01349	3839.5	0.01305	3833.8	0.01264	3828.1
160	0.0010808	694.5	0.0010802	695.1	0.0010796	695.8	750	0.01368	3867.5	0.01324	3862.0	0.01282	3856.5
170	0.0010917	737.0	0.0010910	737.6	0.0010904	738.2							
180	0.0011032	779.8	0.0011025	780.4	0.0011018	780.9							
190	0.0011154	822.8	0.0011146	823.4	0.0011139	823.9		p = 35 МПа		p = 36 МПа		p = 37 МПа	
200	0.0011284	866.2	0.0011276	866.7	0.0011268	867.2	0	0.0009834	34.9	0.0009830	35.9	0.0009825	36.8
210	0.0011422	909.9	0.0011414	910.3	0.0011405	910.8	10	0.0009844	75.5	0.0009840	76.4	0.0009836	77.4
220	0.0011570	953.9	0.0011561	954.3	0.0011551	954.7	20	0.0009865	116.3	0.0009861	117.2	0.0009857	118.1
230	0.0011728	998.4	0.0011718	998.8	0.0011707	999.1	30	0.0009894	157.2	0.0009890	158.1	0.0009886	159.0
240	0.0011898	1043.4	0.0011886	1043.7	0.0011875	1044.0	40	0.0009930	198.2	0.0009926	199.0	0.0009922	199.9
250	0.0012080	1088.9	0.0012086	1089.1	0.0012055	1089.4	50	0.0009973	239.2	0.0009969	240.0	0.0009965	240.9
260	0.0012278	1135.1	0.0012263	1135.2	0.0012249	1135.4	60	0.0010021	280.3	0.0010017	281.1	0.0010012	282.0
270	0.0012491	1182.0	0.0012475	1182.0	0.0012459	1182.0	70	0.0010074	321.5	0.0010070	322.3	0.0010066	323.1
280	0.0012725	1229.7	0.0012706	1229.6	0.0012688	1229.6	80	0.0010133	362.7	0.0010129	363.5	0.0010125	364.3
290	0.0012981	1278.4	0.0012959	1278.2	0.0012938	1278.0	90	0.0010197	404.0	0.0010193	404.8	0.0010188	405.6
300	0.0013264	1328.2	0.0013239	1327.9	0.0013214	1327.5	100	0.0010266	445.4	0.0010262	446.2	0.0010257	446.9
310	0.0013580	1379.5	0.0013550	1378.9	0.0013522	1378.4	110	0.0010340	486.9	0.0010336	487.6	0.0010331	488.4
320	0.0013937	1432.5	0.0013901	1431.6	0.0013867	1430.8	120	0.0010420	528.5	0.0010415	529.2	0.0010410	529.9
330	0.0014346	1487.6	0.0014302	1486.4	0.0014260	1485.3	130	0.0010504	570.2	0.0010499	570.9	0.0010494	571.6
340	0.0014821	1545.5	0.0014766	1543.8	0.0014714	1542.3	140	0.0010594	612.1	0.0010588	612.8	0.0010583	613.5
350	0.001539	1606.4	0.001532	1604.2	0.001525	1602.0	150	0.0010689	654.2	0.0010683	654.8	0.0010677	655.5
360	0.001608	1671.6	0.001598	1668.5	0.001589	1665.5	160	0.0010790	696.4	0.0010784	697.0	0.0010778	697.6
370	0.001696	1742.7	0.001682	1738.1	0.001669	1733.8	170	0.0010897	738.8	0.0010890	739.4	0.0010884	740.0
380	0.001816	1823.6	0.001794	1816.3	0.001773	1809.8	180	0.0011011	781.5	0.0011004	782.1	0.0010997	782.7
390	0.002006	1923.5	0.001962	1910.2	0.001924	1898.9	190	0.0011131	824.4	0.0011124	825.0	0.0011116	825.5
400	0.002372	2062.9	0.002257	2034.0	0.002173	2011.7	200	0.0011260	867.7	0.0011252	868.2	0.0011244	868.7
410	0.003133	2264.1	0.002842	2208.5	0.002632	2164.3	210	0.0011396	911.2	0.0011387	911.7	0.0011379	912.2
420	0.004054	2451.1	0.003680	2396.8	0.003355	2344.4	220	0.0011542	955.2	0.0011532	955.6	0.0011523	956.0
430	0.004810	2584.0	0.004438	2540.6	0.004095	2496.5	230	0.0011697	999.5	0.0011687	999.8	0.0011676	1000.2
440	0.005427	2684.3	0.005065	2648.9	0.004727	2612.6	240	0.0011863	1044.3	0.0011852	1044.6	0.0011841	1044.9
450	0.005953	2765.7	0.005599	2735.7	0.005266	2705.1	250	0.0012042	1089.6	0.0012030	1089.8	0.0012017	1090.1
460	0.006416	2835.1	0.006066	2809.1	0.005737	2782.5	260	0.0012235	1135.5	0.0012221	1135.7	0.0012207	1135.8
470	0.006834	2896.4	0.006486	2873.3	0.006159	2849.8	270	0.0012443	1182.1	0.0012427	1182.2	0.0012412	1182.2
480	0.007218	2951.7	0.006871	2930.9	0.006544	2909.8	280	0.0012670	1229.5	0.0012652	1229.5	0.0012634	1229.4
490	0.007576	3002.5	0.007227	2983.6	0.006900	2964.4	290	0.0012917	1277.8	0.0012897	1277.6	0.0012877	1277.5
500	0.007911	3049.8	0.007561	3032.5	0.007232	3014.9	300	0.0013190	1327.2	0.0013167	1326.9	0.0013143	1326.6
510	0.008228	3094.4	0.007876	3078.3	0.007546	3062.0	310	0.0013493	1377.8	0.0013466	1377.3	0.0013438	1376.8
520	0.008530	3136.6	0.008176	3121.7	0.007843	3106.6	320	0.0013833	1430.1	0.0013800	1429.3	0.0013768	1428.6
530	0.008819	3177.0	0.008462	3163.0	0.008127	3148.9	330	0.0014219	1484.2	0.0014179	1483.2	0.0014140	1482.2
540	0.009097	3215.8	0.008737	3202.6	0.008399	3189.4	340	0.0014662	1540.8	0.0014613	1539.3	0.0014565	1538.0
550	0.009366	3253.2	0.009003	3240.8	0.008661	3228.3	350	0.001519	1600.0	0.001512	1598.0	0.001506	1596.1
560	0.009626	3289.4	0.009259	3277.6	0.008914	3265.8	360	0.001581	1662.7	0.001572	1660.0	0.001564	1657.5
570	0.009878	3324.5	0.009508	3313.4	0.009159	3302.2	370	0.001657	1729.8	0.001645	1726.1	0.001635	1722.6
580	0.010123	3358.8	0.009749	3348.2	0.009398	3337.6	380	0.001755	1803.8	0.001738	1798.4	0.001723	1793.4

Продолжение таблицы XXVI

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 35 МПа		p = 36 МПа		p = 37 МПа	
390	0.001893	1889.1	0.001865	1880.4	0.001840	1872.7
400	0.002107	1993.6	0.002054	1978.5	0.002010	1965.6
410	0.002479	2129.5	0.002364	2101.8	0.002274	2079.3
420	0.003065	2296.5	0.002868	2254.6	0.002696	2218.9
430	0.003784	2452.5	0.003507	2409.6	0.003266	2369.1
440	0.004412	2575.7	0.004122	2538.6	0.003856	2501.7
450	0.004954	2673.8	0.004662	2642.1	0.004390	2610.2
460	0.005427	2755.5	0.005136	2728.0	0.004864	2700.2
470	0.005851	2825.9	0.005560	2801.6	0.005287	2777.1
480	0.006236	2888.4	0.005945	2866.7	0.005672	2844.7
490	0.006591	2944.9	0.006300	2925.9	0.006025	2905.5
500	0.006922	2997.1	0.006630	2979.1	0.006354	2961.0
510	0.007234	3045.6	0.006940	3029.1	0.006662	3012.3
520	0.007529	3091.3	0.007233	3075.9	0.006954	3060.5
530	0.007811	3134.7	0.007512	3120.3	0.007230	3105.9
540	0.008080	3176.0	0.007779	3162.6	0.007495	3149.1
550	0.008339	3215.8	0.008036	3203.2	0.007749	3190.5
560	0.008589	3254.0	0.008283	3242.1	0.007993	3230.1
570	0.008831	3291.0	0.008522	3279.7	0.008229	3268.3
580	0.009066	3326.9	0.008754	3316.2	0.008458	3305.4
590	0.009296	3361.9	0.008979	3351.7	0.008681	3341.5
600	0.009518	3396.1	0.009199	3386.4	0.008897	3376.6
610	0.009736	3429.6	0.009413	3420.3	0.009109	3410.9
620	0.009949	3462.3	0.009623	3453.4	0.009315	3444.5
630	0.010158	3494.4	0.009828	3485.9	0.009517	3477.4
640	0.01036	3526.0	0.010030	3517.8	0.009715	3509.7
650	0.01056	3557.1	0.010227	3549.2	0.009910	3541.4
660	0.01076	3587.7	0.01042	3580.2	0.010101	3572.6
670	0.01096	3617.9	0.01061	3610.7	0.010288	3603.4
680	0.01115	3647.8	0.01080	3640.8	0.01047	3633.8
690	0.01134	3677.4	0.01099	3670.7	0.01065	3664.0
700	0.01152	3706.8	0.01117	3700.3	0.01083	3693.8
710	0.01171	3736.0	0.01135	3729.7	0.01101	3723.4
720	0.01189	3764.9	0.01153	3758.8	0.01119	3752.8
730	0.01207	3793.7	0.01170	3787.8	0.01136	3782.0
740	0.01225	3822.4	0.01188	3816.7	0.01153	3811.0
750	0.01242	3850.9	0.01205	3845.4	0.01170	3839.9
	p = 38 МПа		p = 39 МПа		p = 40 МПа	
0	0.0009820	37.8	0.0009816	38.8	0.0009811	39.7
10	0.0009831	78.3	0.0009827	79.3	0.0009823	80.2
20	0.0009853	119.0	0.0009849	119.9	0.0009845	120.8
30	0.0009882	159.8	0.0009878	160.7	0.0009874	161.6
40	0.0009918	200.8	0.0009914	201.6	0.0009910	202.5
50	0.0009961	241.8	0.0009957	242.6	0.0009953	243.5
60	0.0010008	282.8	0.0010004	283.6	0.0010000	284.5
70	0.0010062	323.9	0.0010058	324.7	0.0010054	325.6
80	0.0010120	365.1	0.0010116	365.9	0.0010112	366.7
90	0.0010184	406.4	0.0010180	407.1	0.0010175	407.9
100	0.0010253	447.7	0.0010248	448.4	0.0010244	449.2
110	0.0010326	489.1	0.0010322	489.9	0.0010317	490.6
120	0.0010405	530.7	0.0010400	531.4	0.0010395	532.1
130	0.0010488	572.3	0.0010483	573.0	0.0010478	573.7
140	0.0010577	614.2	0.0010572	614.8	0.0010566	615.5
150	0.0010672	656.1	0.0010666	656.8	0.0010660	657.4
160	0.0010772	698.3	0.0010766	698.9	0.0010760	699.6
170	0.0010878	740.6	0.0010871	741.2	0.0010865	741.9
180	0.0010990	783.2	0.0010983	783.8	0.0010976	784.4
190	0.0011109	826.1	0.0011102	826.6	0.0011094	827.2

t °C	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг	v м³/кг	i кДж/кг
	p = 38 МПа		p = 39 МПа		p = 40 МПа	
200	0.0011236	869.2	0.0011228	869.7	0.0011220	870.2
210	0.0011370	912.6	0.0011362	913.1	0.0011353	913.6
220	0.0011513	956.4	0.0011504	956.8	0.0011495	957.3
230	0.0011666	1000.6	0.0011656	1001.0	0.0011646	1001.3
240	0.0011830	1045.2	0.0011818	1045.5	0.0011868	1045.8
250	0.0012005	1090.3	0.0011992	1090.6	0.0011981	1090.8
260	0.0012193	1136.0	0.0012180	1136.2	0.0012166	1136.4
270	0.0012396	1182.3	0.0012381	1182.4	0.0012366	1182.5
280	0.0012617	1229.4	0.0012600	1229.4	0.0012583	1229.4
290	0.0012857	1277.4	0.0012838	1277.2	0.0012818	1277.1
300	0.0013121	1326.3	0.0013098	1326.0	0.0013076	1325.8
310	0.0013412	1376.4	0.0013386	1376.0	0.0013360	1375.5
320	0.0013736	1427.9	0.0013705	1427.3	0.0013675	1426.7
330	0.0014102	1481.2	0.0014065	1480.3	0.0014029	1479.4
340	0.0014519	1536.7	0.0014474	1535.4	0.0014430	1534.2
350	0.001501	1594.4	0.001495	1592.6	0.001489	1591.0
360	0.001557	1655.1	0.001550	1652.8	0.001543	1650.6
370	0.001625	1719.4	0.001615	1716.2	0.001606	1713.3
380	0.001709	1788.7	0.001696	1784.4	0.001683	1780.3
390	0.001818	1865.7	0.001799	1859.4	0.001780	1853.6
400	0.001972	1954.4	0.001939	1944.5	0.001911	1935.7
410	0.002203	2060.5	0.002144	2044.5	0.002094	2030.6
420	0.002561	2188.8	0.002452	2163.4	0.002363	2141.8
430	0.003060	2331.8	0.002888	2298.3	0.008744	2268.7
440	0.003616	2465.7	0.003401	2431.1	0.003211	2398.5
450	0.004139	2578.4	0.003907	2546.8	0.003695	2515.9
460	0.004609	2672.3	0.004371	2644.3	0.004149	2614.5
470	0.005031	2752.4	0.004790	2727.6	0.004564	2702.7
480	0.005414	2822.6	0.005171	2800.3	0.004943	2778.0
490	0.005766	2885.5	0.005522	2865.3	0.005291	2845.0
500	0.006094	2942.7	0.005847	2924.3	0.005615	2905.8
510	0.006400	2995.5	0.006152	2978.6	0.005917	2961.6
520	0.006689	3044.9	0.006439	3029.2	0.006202	3013.4
530	0.006964	3091.4	0.006711	3076.8	0.006472	3062.1
540	0.007226	3135.5	0.006971	3121.9	0.006730	3108.2
550	0.007477	3177.7	0.007220	3164.9	0.006977	3152.1
560	0.007719	3218.0	0.007459	3206.0	0.007213	3193.8
570	0.007952	3256.9	0.007690	3245.5	0.007441	3234.0
580	0.006178	3294.6	0.007914	3283.8	0.007662	3272.9
590	0.008398	3331.2	0.008130	3320.9	0.007876	3310.5
600	0.008612	3366.8	0.008341	3357.0	0.008085	3347.2
610	0.008820	3401.6	0.008547	3392.2	0.008288	3382.8
620	0.009024	3435.6	0.008748	3426.6	0.008486	3417.6
630	0.009223	3468.8	0.008944	3460.3	0.008679	3451.7
640	0.009418	3501.5	0.009136	3493.3	0.008868	3485.0
650	0.009609	3533.5	0.009324	3525.6	0.009054	3517.7
660	0.009797	3565.1	0.009509	3557.5	0.009236	3549.9
670	0.009981	3596.2	0.009690	3588.9	0.009414	3581.6
680	0.010163	3626.8	0.009869	3619.8	0.009590	3612.8
690	0.01034	3657.2	0.010045	3650.4	0.009763	3643.7
700	0.01052	3687.3	0.010218	3680.8	0.009933	3674.2
710	0.01069	3717.1	0.01039	3710.8	0.010101	3704.5
720	0.01086	3746.7	0.01056	3740.6	0.010266	3734.5
730	0.01103	3776.1	0.01072	3770.2	0.01043	3764.3
740	0.01120	3805.3	0.01089	3799.6	0.01059	3793.9
750	0.01137	3834.4	0.01105	3828.9	0.01075	3823.4

УДЕЛЬНЫЕ ОБЪЕМЫ И ЭНТАЛЬПИИ В КРИТИЧЕСКОЙ И ОКОЛОКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТЯХ

Таблица XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 23.0 МПа		p = 23.2 МПа		p = 23.4 МПа			p = 23.6 МПа		p = 23.8 МПа		p = 24.0 МПа	
350	1.6230	1634.2	1.6205	1633.4	1.6181	1632.6	356	1.6751	1677.0	1.6720	1676.0	1.6689	1675.0
352	1.6421	1649.1	1.6394	1648.2	1.6368	1647.5	358	1.6982	1693.1	1.6947	1692.0	1.6912	1690.8
354	1.6627	1664.4	1.6597	1663.4	1.6568	1662.4	360	1.7234	1709.9	1.7194	1708.6	1.7155	1707.3
356	1.6849	1680.3	1.6816	1679.2	1.6783	1678.1	362	1.7512	1727.4	1.7466	1725.9	1.7422	1724.5
358	1.7092	1696.8	1.7054	1695.5	1.7018	1694.3	364	1.7823	1746.0	1.7770	1744.2	1.7719	1742.6
360	1.7360	1714.0	1.7317	1712.6	1.7275	1711.2	366	1.8178	1765.8	1.8115	1763.7	1.8054	1761.8
362	1.7658	1732.2	1.7608	1730.6	1.7559	1729.0	368	1.8590	1787.1	1.8512	1784.7	1.8438	1782.4
364	1.7996	1751.5	1.7936	1749.6	1.7879	1747.8	370	1.9082	1810.7	1.8983	1807.7	1.8889	1804.8
366	1.8387	1772.4	1.8314	1770.1	1.8245	1767.9	372	1.9695	1837.5	1.9562	1833.6	1.9438	1829.9
368	1.8851	1795.2	1.8759	1792.4	1.8672	1789.7	374	2.051	1869.3	2.031	1863.8	2.014	1858.8
370	1.9424	1821.1	1.9302	1817.4	1.9188	1814.0	376	2.171	1910.4	2.137	1901.6	2.109	1894.0
372	2.018	1851.5	2.000	1846.4	1.9841	1841.8	378	2.402	1976.0	2.318	1956.3	2.259	1941.7
374	2.128	1890.6	2.098	1882.5	2.073	1875.5	380	3.470	2188.5	2.872	2083.6	2.596	2027.8
376	2.343	1953.3	2.265	1934.6	2.212	1921.1	382	4.461	2340.1	4.109	2293.4	3.698	2233.6
378	2.402	1976.0	2.318	1956.3	2.259	1941.7	384	4.993	2413.1	4.735	2383.2	4.458	2349.0
380	4.815	2373.9	4.463	2330.8	4.035	2273.5	386	5.385	2464.3	5.167	2441.4	4.940	2416.3
382	5.314	2438.8	5.053	2410.6	4.772	2378.2	388	5.706	2504.9	5.511	2485.9	5.311	2465.6
384	5.689	2485.7	5.467	2463.7	5.236	2439.7	390	5.983	2539.2	5.802	2522.7	5.619	2505.3
386	6.001	2523.5	5.800	2505.1	5.595	2485.4	392	6.230	2569.1	6.059	2554.4	5.888	2539.1
388	5.706	2504.9	5.511	2485.9	5.311	2465.6	394	6.454	2595.8	6.291	2582.6	6.128	2568.8
390	6.515	2584.2	6.339	2569.8	6.162	2554.9	396	6.661	2620.2	6.504	2608.0	6.347	2595.4
392	6.737	2609.7	6.568	2596.7	6.399	2583.2	398	6.853	2642.6	6.701	2631.2	6.550	2619.6
394	6.942	2633.0	6.779	2621.0	6.616	2608.7	400	7.034	2663.4	6.886	2652.8	6.738	2642.0
396	7.133	2654.6	6.975	2643.4	6.818	2632.0	402	7.206	2682.9	7.060	2672.9	6.916	2662.8
398	7.314	2674.7	7.160	2664.3	7.006	2653.6	404	7.368	2701.2	7.226	2691.9	7.084	2682.3
400	7.485	2693.6	7.334	2683.7	7.184	2673.7	406	7.524	2718.7	7.383	2709.8	7.244	2700.7
402	7.648	2711.4	7.499	2702.1	7.352	2692.6	408	7.673	2735.2	7.534	2726.8	7.397	2718.1
404	7.804	2728.3	7.657	2719.5	7.512	2710.4	410	7.816	2751.1	7.679	2743.0	7.544	2734.7
406	7.953	2744.5	7.809	2736.0	7.666	2727.4	412	7.955	2766.3	7.819	2758.5	7.685	2750.6
408	8.097	2759.9	7.954	2751.8	7.813	2743.6	414	8.088	2780.9	7.954	2773.4	7.821	2765.8
410	8.236	2774.5	8.095	2767.0	7.955	2759.1	416	8.218	2795.0	8.085	2787.8	7.953	2780.5
412	8.371	2789.0	8.230	2781.5	8.092	2774.0	418	8.344	2808.6	8.212	2801.6	8.081	2794.6
414	8.501	2802.7	8.362	2795.6	8.224	2788.3	420	8.466	2821.7	8.335	2815.0	8.205	2808.2
416	8.628	2816.0	8.490	2809.1	8.353	2802.1	422	8.586	2834.5	8.454	2828.0	8.326	2821.4
418	8.751	2828.9	8.614	2822.2	8.478	2815.4	424	8.702	2846.9	8.571	2840.6	8.443	2834.2
420	8.872	2841.4	8.735	2834.9	8.600	2828.4	426	8.815	2859.0	8.686	2852.9	8.558	2846.7
422	8.989	2853.6	8.852	2847.3	8.718	2840.9	428	8.926	2870.7	8.797	2864.8	8.670	2858.8
424	9.104	2865.4	8.968	2859.3	8.834	2853.2	430	9.035	2882.2	8.906	2876.4	8.779	2870.6
426	9.216	2877.0	9.080	2871.0	8.947	2865.0	432	9.141	2893.4	9.013	2887.8	8.886	2882.1
428	9.325	2888.2	9.190	2882.5	9.057	2876.6	434	9.246	2904.4	9.117	2898.9	8.991	2893.4
430	9.035	2882.2	8.906	2876.4	8.779	2870.6	436	9.348	2915.1	9.220	2909.7	9.094	2904.4
432	9.141	2893.4	9.013	2887.8	8.886	2882.1	438	9.448	2925.6	9.321	2920.4	9.195	2915.1
434	9.246	2904.4	9.117	2898.9	8.991	2893.4	440	9.547	2935.9	9.420	2930.8	9.294	2925.7
436	9.348	2915.1	9.220	2909.7	9.094	2904.4	442	9.644	2946.0	9.517	2941.1	9.392	2936.0
438	9.843	2941.0	9.710	2935.9	9.578	2930.8	444	9.740	2956.0	9.613	2951.1	9.488	2946.2
440	9.942	2951.0	9.808	2946.0	9.677	2941.0	446	9.834	2965.7	9.707	2960.9	9.582	2956.1
442	10.039	2960.8	9.905	2955.9	9.774	2951.0	448	9.927	2975.3	9.800	2970.6	9.675	2965.9
444	10.134	2970.4	10.000	2965.6	9.869	2960.8	450	10.018	2984.7	9.891	2980.1	9.766	2975.5
446	10.228	2979.8	10.095	2975.1	9.963	2970.4							
448	10.320	2989.1	10.187	2984.5	10.056	2979.9							
								p = 24.2 МПа		p = 24.4 МПа		p = 24.6 МПа	
450	10.412	2998.3	10.278	2993.8	10.147	2989.2							
							350	1.6088	1629.5	1.6066	1628.7	1.6044	1628.0
	p = 23.6 МПа		p = 23.8 МПа		p = 24.0 МПа		352	1.6266	1643.9	1.6242	1647.1	1.6218	1642.3
350	1.6157	1631.8	1.6134	1631.0	1.6111	1630.2	354	1.6456	1658.7	1.6429	1657.8	1.6402	1656.9
352	1.6342	1646.4	1.6316	1645.6	1.6291	1644.7	356	1.6659	1674.0	1.6630	1673.0	1.6600	1672.0
354	1.6539	1661.5	1.6511	1660.5	1.6483	1659.6	358	1.6879	1689.7	1.6846	1688.6	1.6814	1687.5

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 24.2 МПа		p = 24.4 МПа		p = 24.6 МПа			p = 24.8 МПа		p = 25.0 МПа		p = 25.2 МПа	
360	1.7117	1706.0	1.7080	1704.8	1.7044	1703.6	370	1.8561	1794.6	1.8488	1792.3	1.8418	1790.1
362	1.7379	1723.1	1.7337	1721.7	1.7296	1720.3	372	1.9018	1817.2	1.8928	1814.4	1.8842	1811.8
364	1.7669	1740.9	1.7620	1739.4	1.7574	1737.8	374	1.9571	1842.2	1.9454	1838.8	1.9345	1835.5
366	1.7995	1759.9	1.7938	1758.0	1.7883	1756.3	376	2.026	1871.0	2.011	1866.4	1.9961	1862.2
368	1.8367	1780.1	1.8298	1778.0	1.8233	1775.9	378	2.119	1905.3	2.096	1898.9	2.076	1893.1
370	1.8801	1802.1	1.8717	1799.5	1.8637	1797.0	380	2.257	1949.8	2.217	1939.6	2.184	1930.9
372	1.9323	1826.4	1.9215	1823.2	1.9114	1820.1	382	2.508	2017.7	2.419	1997.4	2.352	1981.8
374	1.9976	1854.2	1.9630	1849.9	1.9696	1846.0	384	3.120	2147.9	2.851	2097.8	2.673	2061.9
376	2.085	1887.3	2.063	1881.5	2.044	1875.9	386	3.908	2283.7	3.614	2239.6	3.322	2192.1
378	2.214	1930.2	2.177	1920.7	2.146	1912.5	388	4.449	2360.4	4.213	2335.5	3.968	2301.6
380	2.458	1997.7	2.370	1977.3	2.307	1962.0	390	4.854	2424.5	4.652	2400.6	4.444	2374.9
382	3.235	2158.7	2.855	2089.5	2.638	2045.8	392	5.185	2470.0	5.003	2450.2	4.819	2429.3
384	4.156	2309.2	3.824	2262.2	3.467	2206.9	394	5.469	2507.8	5.301	2490.8	5.131	2472.9
386	4.703	2388.6	4.453	2357.0	4.188	2323.0	396	5.720	2540.5	5.562	2525.4	5.403	2509.8
388	5.106	2447.8	4.895	2420.1	4.676	2394.4	398	5.946	2569.5	5.796	2555.9	5.646	2541.8
390	5.434	2487.0	5.245	2467.5	5.052	2446.7	400	6.154	2595.7	6.010	2583.2	5.866	2570.4
392	5.715	2523.1	5.541	2506.3	5.364	2488.6	402	6.348	2619.6	6.207	2608.2	6.068	2596.4
394	5.965	2554.5	5.800	2539.6	5.635	2524.0	404	6.529	2641.8	6.393	2631.1	6.256	2620.1
396	6.191	2582.3	6.034	2568.9	5.877	2555.0	406	6.699	2662.5	6.566	2652.5	6.434	2642.2
398	6.398	2607.7	6.248	2595.3	6.097	2582.6	408	6.861	2681.9	6.730	2672.5	6.600	2662.8
400	6.592	2630.9	6.445	2619.5	6.300	2607.7	410	7.016	2700.3	6.887	2691.3	6.759	2682.2
402	6.773	2652.4	6.630	2641.7	6.489	2630.8	412	7.163	2717.8	7.036	2709.2	6.910	2700.5
404	6.944	2672.5	6.804	2662.5	6.666	2652.3	414	7.305	2734.4	7.180	2726.2	7.055	2717.9
406	7.106	2691.4	6.970	2684.0	6.834	2672.3	416	7.442	2750.3	7.318	2742.5	7.195	2734.5
408	7.261	2709.3	7.127	2700.4	6.993	2690.2	418	7.574	2765.5	7.451	2758.0	7.329	2750.4
410	7.410	2726.3	7.277	2717.8	7.146	2709.1	420	7.702	2780.2	7.580	2773.0	7.459	2765.7
412	7.553	2742.6	7.421	2734.4	7.292	2726.2	422	7.825	2794.4	7.704	2787.4	7.584	2780.4
414	7.690	2758.1	7.560	2750.3	7.432	2742.4	424	7.946	2808.1	7.825	2801.4	7.706	2794.6
416	7.823	2773.1	7.694	2765.6	7.568	2758.0	426	8.063	2821.4	7.943	2814.9	7.825	2808.3
418	7.952	2787.5	7.824	2780.2	7.698	2773.0	428	8.177	2834.2	8.058	2827.9	7.940	2821.6
420	8.077	2801.4	7.950	2794.4	7.825	2787.4	430	8.288	2846.7	8.170	2840.6	8.053	2834.5
422	8.198	2814.8	8.072	2808.1	7.948	2801.3	432	8.397	2858.9	8.279	2853.0	8.162	2847.0
424	8.316	2827.8	8.191	2821.3	8.068	2814.7	434	8.504	2870.8	8.386	2865.0	8.270	2859.2
426	8.431	2840.5	8.307	2834.2	8.184	2827.8	436	8.608	2882.4	8.490	2876.8	8.374	2871.1
428	8.544	2852.8	8.420	2846.6	8.298	2840.5	438	8.710	2893.7	8.593	2888.2	8.477	2882.7
430	8.654	2864.7	8.530	2858.8	8.408	2852.8	440	8.810	2904.8	8.693	2899.5	8.578	2894.1
432	8.761	2876.4	8.638	2870.6	8.517	2864.8	442	8.908	2915.6	8.792	2910.4	8.677	2905.2
434	8.867	2887.8	8.744	2882.2	8.623	2876.5	444	9.005	2926.2	8.888	2921.1	8.774	2916.0
436	8.970	2898.9	8.847	2893.4	8.726	2887.9	446	9.100	2936.6	8.983	2931.7	8.869	2926.7
438	9.071	2909.8	8.949	2904.5	8.828	2899.1	448	9.193	2946.8	9.077	2942.0	8.961	2937.1
440	9.170	2920.5	9.049	2915.3	8.928	2911.0	450	9.285	2956.8	9.169	2952.1	9.055	2947.3
442	9.268	2931.0	9.146	2925.9	9.026	2920.8							
444	9.364	2941.2	9.243	2936.3	9.123	2931.3		p = 25.4 МПа		p = 25.6 МПа		p = 25.8 МПа	
446	9.459	2951.3	9.337	2946.4	9.217	2941.6							
448	9.552	2961.2	9.430	2956.4	9.311	2951.6	350	1.5958	1625.1	1.5938	1624.5	1.5918	1623.8
							352	1.6125	1639.2	1.6103	1638.4	1.6081	1637.7
450	9.643	2970.9	9.522	2966.2	9.402	2961.6	354	1.6302	1653.6	1.6277	1652.7	1.6253	1652.0
							356	1.6490	1668.3	1.6463	1667.4	1.6437	1666.5
	p = 24.8 МПа		p = 25.0 МПа		p = 25.2 МПа		358	1.6691	1683.4	1.6662	1682.5	1.6633	1681.5
350	1.6022	1627.2	1.6000	1626.5	1.5979	1625.8	360	1.6907	1699.1	1.6875	1698.0	1.6843	1696.9
352	1.6194	1641.5	1.6170	1640.7	1.6148	1639.9	362	1.7142	1715.3	1.7106	1714.1	1.7070	1712.9
354	1.6377	1656.1	1.6351	1655.2	1.6326	1654.4	364	1.7398	1732.1	1.7357	1730.8	1.7317	1729.4
356	1.6572	1671.0	1.6544	1670.1	1.6517	1669.2	366	1.7681	1749.7	1.7634	1748.2	1.7588	1746.7
358	1.6782	1686.5	1.6751	1685.4	1.6721	1684.4	368	1.7995	1768.3	1.7941	1766.5	1.7888	1764.8
360	1.7009	1702.4	1.6974	1701.3	1.6941	1700.2	370	1.8351	1788.0	1.8287	1786.0	1.8225	1784.0
362	1.7256	1719.0	1.7217	1717.7	1.7179	1716.5	372	1.8760	1809.2	1.8692	1806.8	1.8608	1804.5
364	1.7528	1736.3	1.7484	1734.9	1.7448	1733.5	374	1.9242	1832.4	1.9145	1829.4	1.9053	1826.6
366	1.7830	1754.6	1.7779	1752.9	1.7729	1751.3	376	1.9826	1858.2	1.9700	1854.5	1.9582	1851.0
368	1.8170	1773.9	1.8109	1771.9	1.8052	1770.1	378	2.056	1887.8	2.039	1883.0	2.023	1878.4

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 25.4 МПа		p = 25.6 МПа		p = 25.8 МПа			p = 26.0 МПа		p = 26.2 МПа		p = 26.4 МПа	
380	2.155	1923.2	2.129	1916.4	2.107	1910.3	390	3.574	2251.7	3.363	2217.4	3.168	2183.8
382	2.300	1969.0	2.257	1958.3	2.221	1949.2	392	4.049	2331.3	3.852	2303.1	3.657	2273.8
384	2.552	2036.1	2.464	2016.4	2.396	2000.7	394	4.434	2391.6	4.257	2368.6	4.078	2344.3
386	3.059	2145.9	2.852	2106.9	2.700	2076.5	396	4.758	2439.8	4.595	2420.3	4.430	2399.9
388	3.717	2264.7	3.467	2225.3	3.230	2185.5	398	5.039	2480.1	4.886	2463.2	4.733	2445.5
390	4.232	2347.1	4.013	2317.2	3.793	2285.3	400	5.287	2514.9	5.143	2499.9	4.999	2484.3
392	4.631	2407.0	4.440	2383.3	4.245	2358.1	402	5.512	2545.7	5.374	2532.1	5.237	2518.1
394	4.960	2454.2	4.787	2434.4	4.612	2413.6	404	5.719	2573.4	5.586	2561.0	5.453	2548.2
396	5.243	2493.4	5.082	2476.4	4.921	2458.5	406	5.910	2598.8	5.781	2587.2	5.653	2575.4
398	5.494	2527.3	5.343	2512.2	5.191	2496.4	408	6.089	2622.1	5.964	2611.4	5.839	2600.4
400	5.721	2557.2	5.576	2543.6	5.432	2529.5	410	6.258	2643.8	6.135	2633.8	6.014	2623.5
402	5.928	2584.2	5.789	2571.8	5.651	2558.9	412	6.418	2664.2	6.298	2654.7	6.178	2645.1
404	6.121	2608.9	5.986	2597.4	5.852	2585.6	414	6.570	2683.4	6.452	2674.4	6.334	2665.3
406	6.301	2631.7	6.170	2621.0	6.040	2610.0	416	6.716	2701.6	6.599	2693.1	6.484	2684.4
408	6.472	2652.9	6.343	2642.9	6.216	2632.6	418	6.856	2718.9	6.740	2710.8	6.626	2702.5
410	6.632	2672.9	6.506	2663.4	6.382	2653.7	420	6.990	2735.5	6.876	2727.7	6.763	2719.8
412	6.786	2691.7	6.662	2682.7	6.539	2673.5	422	7.120	2751.4	7.007	2743.9	6.895	2736.3
414	6.932	2709.5	6.810	2700.9	6.690	2692.2	424	7.245	2766.6	7.133	2759.4	7.022	2752.1
416	7.073	2726.5	6.953	2718.3	6.834	2710.0	426	7.367	2781.3	7.256	2774.4	7.146	2767.3
418	7.209	2742.7	7.090	2734.9	6.973	2727.0	428	7.485	2795.5	7.374	2788.8	.7.265	2782.0
420	7.340	2758.3	7.222	2750.8	7.105	2743.2	430	7.600	2809.2	7.490	2802.7	7.381	2796.2
422	7.466	2773.3	7.350	2766.0	7.233	2758.8	432	7.711	2822.5	7.602	2816.2	7.494	2809.9
424	7.589	2787.7	7.473	2780.8	7.358	2773.7	434	7.820	2835.4	7.712	2829.3	7.604	2823.2
426	7.708	2801.6	7.593	2794.9	7.479	2788.2	436	7.927	2848.0	7.819	2842.1	7.712	2836.1
428	7.824	2815.2	7.710	2806.6	7.596	2802.1	438	8.031	2860.2	7.923	2854.5	7.817	2848.7
430	7.937	2828.2	7.823	2822.0	7.711	2815.6	440	8.133	2872.2	8.025	2866.6	7.919	2861.0
432	8.047	2841.0	7.934	2834.9	7.822	2828.7	442	8.233	2883.8	8.125	2878.4	8.020	2872.9
434	8.155	2853.3	8.042	2847.4	7.930	2841.4	444	8.331	2895.2	8.223	2889.9	8.118	2884.6
436	8.260	2865.4	8.148	2859.6	8.036	2853.8	446	8.427	2906.4	8.320	2901.2	8.214	2896.0
438	8.363	2877.1	8.251	2871.5	8.140	2865.9	448	8.521	2917.2	8.414	2912.2	8.309	2907.1
440	8.464	2888.7	8.352	2883.2	8.242	2877.7	450	8.614	2927.9	8.507	2923.0	8.402	2918.0
442	8.563	2899.9	8.452	2894.6	8.341	2889.2							
444	8.660	2910.9	8.549	2905.7	8.439	2900.5		p = 26.6 МПа		p = 26.8 МПа		p = 27.0 МПа	
446	8.756	2921.6	8.644	2916.6	8.535	2911.5	350	1.5839	1621.2	1.5820	1620.5	1.5801	1619.9
448	8.850	2932.2	8.738	2927.2	8.629	2922.3	352	1.5996	1634.9	1.5975	1634.2	1.5955	1633.5
450	8.942	2942.5	8.831	2937.7	8.721	2932.8	354	1.6161	1648.9	1.6139	1648.1	1.6117	1647.4
							356	1.6336	1663.2	1.6312	1662.4	1.6288	1661.6
	p = 26.0 МПа		p = 26.2 МПа		p = 26.4 МПа		358	1.6523	1677.8	1.6496	1677.0	1.6471	1676.1
350	1.5897	1623.1	1.5878	1622.5	1.5858	1621.8	360	1.6722	1692.9	1.6693	1692.0	1.6665	1691.0
352	1.6059	1637.0	1.6038	1636.3	1.6016	1635.6	362	1.6936	1708.4	1.6904	1707.4	1.6872	1706.3
354	1.6230	1651.2	1.6206	1650.4	1.6184	1649.6	364	1.7166	1724.5	1.7130	1723.3	1.7096	1722.1
356	1.6411	1665.7	1.6386	1664.8	1.6361	1664.0	366	1.7417	1741.1	1.7377	1739.8	1.7338	1738.5
358	1.6605	1680.6	1.6577	1679.6	1.6550	1678.7	368	1.7693	1758.5	1.7647	1757.0	1.7603	1755.6
360	1.6812	1695.9	1.6782	1694.9	1.6752	1693.9	370	1.7997	1776.7	1.7945	1775.0	1.7894	1773.4
362	1.7036	1711.7	1.7000	1710.6	1.6968	1709.5	372	1.8339	1796.0	1.8278	1794.0	1.8219	1792.2
364	1.7278	1728.2	1.7240	1726.9	1.7203	1725.7	374	1.6727	1816.5	1.8654	1814.3	1.8586	1812.1
366	1.7544	1745.2	1.7500	1743.8	1.7458	1742.5	376	1.9176	1838.8	1.9088	1836.1	1.9007	1833.5
368	1.7837	1763.2	1.7788	1761.6	1.7739	1760.0	378	1.9708	1863.1	1.9596	1859.8	1.9497	1856.7
370	1.8165	1782.1	1.8107	1780.2	1.8051	1778.4	380	2.035	1890.3	2.021	1886.2	2.008	1882.2
372	1.8537	1802.2	1.8468	1800.1	1.8402	1798.0	382	2.117	1921.5	2.097	1916.0	2.080	1911.0
374	1.8966	1823.9	1.8882	1821.4	1.8803	1818.9	384	2.225	1958.7	2.196	1951.2	2.173	1944.4
376	1.9472	1847.7	1.9368	1844.6	1.9270	1841.6	386	2.381	2005.7	2.334	1994.5	2.297	1984.7
378	2.009	1874.2	1.9952	1870.3	1.9826	1866.6	388	2.621	2068.6	2.539	2050.8	2.477	2035.8
380	2.086	1904.7	2.068	1899.5	2.051	1894.8	390	2.999	2152.9	2.857	2125.8	2.742	2102.7
382	2.190	1941.1	2.163	1933.9	2.139	1927.4	392	3.468	2243.7	3.289	2213.8	3.131	2185.2
384	2.341	1987.7	2.296	1976.7	2.258	1967.1	394	3.899	2319.0	3.723	2292.9	3.554	2266.2
386	2.589	2053.0	2.504	2034.2	2.436	2018.7	396	4.266	2378.6	4.101	2356.5	3.939	2333.5
388	3.022	2148.3	2.854	2116.3	2.723	2090.0	398	4.580	2427.2	4.426	2408.1	4.273	2388.4

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 26.6 МПа		p = 26.8 МПа		p = 27.0 МПа			p = 27.2 МПа		p = 27.4 МПа		p = 27.6 МПа	
400	4.854	2468.1	4.710	2451.4	4.566	2434.1	410	5.535	2580.3	5.417	2569.0	5.301	2557.4
402	5.099	2503.6	4.962	2488.7	4.825	2473.3	412	5.710	2604.6	5.595	2594.0	5.482	2583.2
404	5.322	2535.0	5.190	2521.5	5.059	2507.6	414	5.875	2627.2	5.763	2617.2	5.652	2607.1
406	5.526	2563.4	5.399	2551.0	5.272	2538.3	416	6.032	2648.3	5.922	2638.9	5.812	2629.4
408	5.715	2589.2	5.592	2577.8	5.470	2566.0	418	6.181	2668.2	6.072	2359.3	5.965	2650.3
410	5.893	2613.0	5.773	2602.4	5.653	2591.5	420	6.324	2687.0	6.217	2678.6	6.111	2670.0
412	6.060	2635.2	5.942	2625.2	5.826	2615.0	422	6.460	2705.0	6.355	2596.9	6.250	2688.7
414	6.218	2656.0	6.103	2646.6	5.989	2636.9	424	6.592	2722.1	6.487	2714.4	6.383	2706.5
416	6.369	2675.6	6.256	2666.6	6.143	2657.5	426	6.719	2738.5	6.615	2731.0	6.513	2723.5
418	6.513	2694.1	6.402	2685.6	6.291	2677.0	428	6.842	2754.2	6.739	2747.1	6.637	2739.8
420	6.652	2711.8	6.541	2703.6	6.432	2695.4	430	6.961	2769.4	6.859	2762.5	6.758	2755.5
422	6.785	2728.6	6.675	2720.8	6.567	2713.0	432	7.076	2784.0	6.975	2777.3	6.878	2770.6
424	6.913	2744.7	6.805	2737.3	6.698	2729.7	434	7.188	2798.1	7.088	2791.7	6.983	2785.2
426	7.037	2760.2	6.930	2753.1	6.824	2745.8	436	7.298	2811.8	7.197	2805.6	7.098	2799.3
428	7.158	2775.2	7.051	2768.2	6.946	2761.3	438	7.404	2825.1	7.304	2819.0	7.206	2813.0
430	7.274	2789.6	7.169	2782.9	7.065	2776.2	440	7.508	2838.0	7.409	2632.2	7.311	2826.3
432	7.388	2803.5	7.283	2797.0	7.179	2790.5	442	7.610	2850.6	7.511	2844.9	7.413	2839.2
434	7.498	2817.0	7.394	2810.8	7.290	2804.5	444	7.709	2862.8	7.611	2857.3	7.513	2851.8
436	7.606	2830.1	7.502	2824.1	7.399	2818.0	446	7.807	2874.8	7.708	2869.4	7.611	2864.0
438	7.712	2842.8	7.608	2837.0	7.505	2831.0	448	7.902	2886.5	7.804	2881.2	7.707	2876.0
440	7.815	2855.3	7.711	2848.6	7.609	2843.8	450	7.996	2897.9	7.898	2892.8	7.801	2887.6
442	7.915	2867.4	7.812	2861.8	7.710	2856.2							
444	8.014	2879.2	7.911	2873.8	7.810	2868.3		p = 27.8 МПа		p = 28.0 МПа		p = 28.2 МПа	
446	8.110	2890.7	8.008	2885.5	7.907	2880.1							
448	8.205	2902.0	8.103	2896.9	8.002	2891.7	350	1.5728	1617.5	1.5710	1616.9	1.5692	1616.3
							352	1.5876	1630.9	1.5857	1630.3	1.5838	1629.7
450	8.298	2913.0	8.196	2908.0	3.095	2903.0	354	1.6032	1644.6	1.6012	1643.9	1.5991	1643.2
							356	1.6197	1658.5	1.6175	1657.8	1.6153	1657.1
	p = 27.2 МПа		p = 27.4 МПа		p = 27.6 МПа		358	1.6371	1672.8	1.6347	1672.0	1.6323	1671.2
350	1.5782	1619.3	1.5764	1618.7	1.5746	1618.1	360	1.6556	1687.4	1.6530	1686.5	1.6504	1685.7
352	1.5935	1632.9	1.5915	1632.2	1.5895	1631.6	362	1.6753	1702.4	1.6724	1701.4	1.6696	1700.5
354	1.6095	1646.7	1.6074	1646.0	1.6053	1645.3	364	1.6964	1717.8	1.6932	1716.7	1.6901	1715.7
356	1.6265	1660.8	1.6242	1660.0	1.6219	1659.3	366	1.7191	1733.6	1.7156	1732.5	1.7121	1731.4
358	1.6445	1675.3	1.6420	1674.4	1.6395	1673.6	368	1.7437	1750.1	1.7398	1748.8	1.7359	1747.6
360	1.6637	1690.1	1.6609	1689.2	1.6582	1688.3	370	1.7705	1767.2	1.7661	1765.8	1.7618	1764.4
362	1.6842	1705.3	1.6811	1704.3	1.6782	1703.3	372	1.8001	1785.2	1.7950	1783.6	1.7901	1782.0
364	1.7062	1721.0	1.7028	1719.9	1.6996	1718.8	374	1.8329	1804.0	1.8271	1802.2	1.8214	1800.4
366	1.7300	1737.3	1.7263	1736.0	1.7226	1734.8	376	1.8699	1824.1	1.8631	1821.9	1.8565	1819.8
368	1.7560	1754.2	1.7518	1752.8	1.7477	1751.4	378	1.9121	1845.5	1.9093	1842.9	1.8961	1840.5
370	1.7845	1771.8	1.7797	1770.2	1.7570	1768.7	380	1.9612	1868.6	1.9511	1865.6	1.9416	1862.7
372	1.8162	1790.3	1.8106	1788.6	1.8053	1786.8	382	2.019	1894.0	2.006	1890.4	1.9947	1886.9
374	1.8517	1810.0	1.8452	1807.9	1.8390	1805.9	384	2.090	1922.4	2.073	1917.8	2.058	1913.5
376	1.8922	1831.0	1.8845	1828.6	1.8770	1826.3	386	2.178	1954.8	2.156	1948.9	2.136	1943.4
378	1.9392	1853.7	1.9297	1850.8	1.9207	1848.1	388	2.293	1993.0	2.262	1985.0	2.234	1977.8
380	1.9948	1878.6	1.9829	1875.1	1.9717	1871.8	390	2.451	2039.4	2.404	2028.3	2.362	2018.4
382	2.062	1906.4	2.047	1902.0	2.033	1897.9	392	2.672	2096.8	2.598	2081.1	2.536	2067.4
384	2.148	1938.2	2.126	1932.6	2.107	1927.3	394	2.972	2165.6	2.864	2144.8	2.772	2126.3
386	2.260	1976.0	2.229	1968.3	2.202	1961.2	396	3.327	2238.1	3.194	2215.1	3.073	2193.2
388	2.417	2023.0	2.370	2011.8	2.329	2001.8	398	3.678	2303.7	3.538	2281.8	3.405	2260.0
390	2.648	2083.1	2.571	2066.4	2.506	2052.0	400	3.998	2359.6	3.860	2339.9	3.726	2319.9
392	2.983	2158.9	2.861	2135.3	2.758	2114.7	402	4.284	2407.2	4.152	2389.5	4.021	2371.6
394	3.388	2239.5	3.235	2213.4	3.096	2188.6	404	4.514	2448.2	4.414	2432.4	4.288	2416.2
396	3.777	2310.0	3.620	2286.0	3.470	2261.9	406	4.774	2484.3	4.652	2469.9	4.530	2455.3
398	4.121	2368.0	3.970	2347.0	3.822	2325.5	408	4.988	2516.4	4.869	2503.3	4.752	2490.0
400	4.422	2416.3	4.279	2397.9	4.138	2379.0	410	5.185	2545.6	5.070	2533.5	4.956	2521.2
402	4.689	2457.4	4.553	2441.1	4.418	2424.4	412	5.369	2572.2	5.257	2561.0	5.146	2549.5
404	4.928	2493.4	4.799	2478.7	4.669	2463.6	414	5.541	2596.8	5.432	2586.3	5.323	2575.6
406	5.147	2525.3	5.022	2511.9	4.898	2498.2	416	5.704	2619.6	5.597	2609.8	5.490	2599.8
408	5.348	2554.0	5.227	2541.8	5.107	2529.2	418	5.858	2641.1	5.753	2631.6	5.648	2622.3

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 27.8 МПа		p = 28.0 МПа		p = 28.2 МПа	
420	6.006	2661.3	5.902	2652.5	5.799	2643.5
422	6.146	2680.4	6.044	2672.0	5.942	2663.5
424	6.282	2698.6	6.180	2690.6	6.080	2682.4
426	6.412	2715.9	6.311	2708.3	6.212	2700.5
428	6.537	2732.6	6.438	2725.2	6.339	2717.7
430	6.658	2748.5	6.560	2741.4	6.462	2734.2
432	6.776	2763.8	6.678	2757.0	6.581	2750.1
434	6.890	2778.7	6.792	2772.1	6.696	2765.4
436	7.000	2793.0	6.904	2786.6	6.808	2780.2
438	7.108	2806.8	7.012	2800.7	6.917	2794.4
440	7.214	2820.4	7.118	2814.4	7.023	2808.3
442	7.316	2833.4	7.221	2827.6	7.127	2821.7
444	7.417	2846.1	7.322	2840.5	7.228	2834.8
446	7.515	2858.5	7.420	2853.0	7.327	2847.5
448	7.611	2870.6	7.516	2865.3	7.423	2859.9
450	7.705	2882.4	7.611	2877.2	7.518	2871.9
	p = 28.4 МПа		p = 28.6 МПа		p = 28.8 МПа	
350	1.5675	1615.8	1.5658	1615.2	1.5640	1614.6
352	1.5819	1629.1	1.5801	1628.4	1.5783	1627.8
354	1.5971	1642.6	1.5952	1641.9	1.5932	1641.3
356	1.6131	1656.4	1.6110	1655.7	1.6089	1655.0
358	1.6300	1670.4	1.6277	1669.7	1.6254	1668.9
360	1.6478	1684.8	1.6454	1684.0	1.6429	1683.2
362	1.6668	1699.6	1.6641	1698.6	1.6614	1697.8
364	1.6871	1714.7	1.6841	1713.7	1.6812	1712.7
366	1.7088	1730.3	1.7055	1729.2	1.7023	1728.1
368	1.7322	1746.4	1.7285	1745.2	1.7250	1744.0
370	1.7576	1763.0	1.7535	1761.7	1.7495	1760.4
372	1.7854	1780.4	1.7807	1778.9	1.7762	1777.5
374	1.8160	1798.6	1.8107	1796.9	1.8055	1795.3
376	1.8501	1817.8	1.8439	1815.9	1.8380	1814.0
378	1.8885	1838.2	1.8813	1835.9	1.8743	1833.8
380	1.9325	1860.0	1.9238	1857.3	1.9155	1854.8
382	1.9835	1883.6	1.9729	1880.4	1.9628	1877.4
384	2.044	1909.5	2.031	1905.6	2.018	1902.0
386	2.117	1938.3	2.100	1933.6	2.084	1929.1
388	2.208	1971.2	2.185	1965.1	2.164	1959.4
390	2.326	2009.5	2.293	2001.4	2.264	1994.0
392	2.482	2055.2	2.435	2044.3	2.394	2034.4
394	2.692	2109.8	2.623	2095.1	2.563	2082.0
396	2.964	2172.9	2.868	2154.3	2.784	2137.4
398	3.279	2238.7	3.162	2218.2	3.055	2198.8
400	3.596	2299.8	3.472	2279.8	3.353	2260.1
402	3.893	2353.3	3.768	2334.8	3.646	2316.3
404	4.164	2399.7	4.041	2383.0	3.921	2366.0
406	4.410	2440.3	4.291	2425.1	4.174	2409.6
408	4.635	2476.3	4.520	2462.4	4.406	2448.2
410	4.843	2508.6	4.731	2495.8	4.620	2482.8
412	5.036	2537.9	4.927	2526.0	4.818	2514.0
414	5.216	2564.8	5.109	2553.7	5.004	2542.5
416	5.385	2589.6	5.281	2579.3	5.177	2568.8
418	5.545	2612.7	5.443	2603.0	5.341	2593.1
420	5.697	2634.4	5.596	2625.2	5.496	2615.9
422	5.842	2654.9	5.743	2646.1	5.644	2637.3
424	5.981	2674.2	5.883	2665.9	5.786	2657.5
426	6.113	2692.6	6.017	2684.7	5.921	2676.6
428	6.242	2710.2	6.146	2702.6	6.051	2694.9

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 28.4 МПа		p = 28.6 МПа		p = 28.8 МПа	
430	6.366	2727.0	6.270	2719.7	6.176	2712.3
432	6.485	2743.1	6.391	2736.1	6.298	2729.0
434	6.601	2758.7	6.508	2751.9	6.415	2745.0
436	6.714	2773.6	6.621	2767.1	6.528	2760.5
438	6.823	2788.1	6.730	2781.8	6.639	2775.4
440	6.930	2802.2	6.838	2796.1	6.746	2789.9
442	7.034	2815.8	6.942	2809.9	6.851	2803.9
444	7.135	2829.0	7.044	2823.3	6.953	2817.5
446	7.234	2841.9	7.143	2836.3	7.053	2830.6
448	7.331	2854.4	7.240	2849.0	7.150	2843.5
450	7.426	2866.6	7.335	2861.3	7.246	2856.0
	p = 29.0 МПа		p = 29.2 МПа		p = 29.4 МПа	
350	1.5624	1614.1	1.5607	1613.6	1.5590	1613.0
352	1.5765	1627.3	1.5747	1626.7	1.5729	1626.1
354	1.5913	1640.6	1.5894	1640.0	1.5875	1639.4
356	1.6068	1654.3	1.6048	1653.6	1.6028	1652.9
358	1.6232	1668.2	1.6210	1667.4	1.6188	1666.7
360	1.6405	1682.4	1.6381	1681.6	1.6357	1680.8
362	1.6588	1696.9	1.6562	1696.0	1.6536	1695.2
364	1.6783	1711.8	1.6754	1710.8	1.6727	1709.9
366	1.6991	1727.1	1.6960	1726.0	1.6929	1725.0
368	1.7214	1742.8	1.7180	1741.7	1.7146	1740.6
370	1.7456	1759.1	1.7417	1757.0	1.7380	1756.6
372	1.7718	1776.0	1.7675	1774.6	1.7633	1773.3
374	1.8005	1793.7	1.7956	1792.1	1.7909	1790.6
376	1.8322	1812.2	1.8266	1810.4	1.8212	1808.7
378	1.8676	1831.7	1.8611	1829.6	1.8548	1827.7
380	1.9075	1852.4	1.8999	1850.0	1.8925	1847.8
382	1.9532	1874.6	1.9440	1871.8	1.9352	1869.1
384	2.006	1898.6	1.9949	1895.3	1.9843	1892.1
386	2.069	1924.9	2.055	1920.9	2.041	1917.1
388	2.144	1954.2	2.126	1949.2	2.109	1944.6
390	2.238	1987.3	2.214	1981.0	2.192	1975.2
392	2.357	2025.6	2.324	2017.4	2.294	2010.0
394	2.511	2070.2	2.464	2059.6	2.423	2049.9
396	2.710	2122.1	2.645	2108.4	2.588	2095.9
398	2.959	2180.5	2.872	2163.7	2.795	2148.2
400	3.241	2240.9	3.137	2222.4	3.042	2204.9
402	3.529	2297.8	3.417	2279.5	3.311	2261.6
404	3.804	2348.8	3.690	2331.6	3.580	2314.4
406	4.059	2393.9	3.946	2378.0	3.835	2362.0
408	4.294	2433.9	4.183	2419.3	4.074	2404.5
410	4.511	2469.6	4.402	2456.1	4.296	2442.5
412	4.712	2501.8	4.606	2489.3	4.502	2476.7
414	4.899	2531.1	4.796	2519.6	4.694	2507.8
416	5.075	2558.1	4.974	2547.3	4.874	2536.3
418	5.241	2583.1	5.141	2573.0	5.043	2562.6
420	5.398	2606.4	5.300	2596.8	5.203	2587.1
422	5.547	2628.3	5.451	2619.2	5.356	2610.0
424	5.690	2649.0	5.594	2640.3	5.500	2631.6
426	5.826	2668.5	5.732	2660.3	5.639	2652.0
428	5.957	2687.1	5.864	2679.2	5.772	2671.3
430	6.083	2704.8	5.991	2697.3	5.900	2689.7
432	6.205	2721.8	6.114	2714.6	6.024	2707.3
434	6.323	2738.1	6.232	2731.2	6.143	2724.1
436	6.437	2753.8	6.347	2747.1	6.258	2740.3
438	6.548	2769.0	6.459	2762.5	6.370	2755.9

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 29.0 МПа		p = 29.2 МПа		p = 29.4 МПа	
440	6.656	2783.7	6.567	2777.4	6.479	2771.1
442	6.761	2797.8	6.673	2791.8	6.585	2785.6
444	6.864	2811.6	6.776	2805.7	6.688	2799.8
446	6.964	2825.0	6.876	2819.2	6.789	2813.4
448	7.061	2837.9	6.974	2832.3	6.887	2826.8
450	7.157	2850.6	7.070	2845.2	6.983	2839.7
	p = 29.6 МПа		p = 29.8 МПа		p = 30.0 МПа	
350	1.5574	1612.5	1.5558	1612.0	1.5542	1611.4
352	1.5712	1625.5	1.5695	1625.0	1.5678	1624.4
354	1.5856	1638.8	1.5838	1638.2	1.5820	1637.6
356	1.6008	1652.3	1.5988	1651.6	1.5968	1651.0
358	1.6167	1666.0	1.6145	1665.3	1.6124	1664.6
360	1.6334	1680.0	1.6311	1679.3	1.6289	1678.5
362	1.6511	1694.3	1.6487	1693.5	1.6462	1692.7
364	1.6699	1709.0	1.6672	1708.1	1.6646	1707.2
366	1.6899	1724.0	1.6870	1723.1	1.6841	1722.1
368	1.7113	1739.5	1.7081	1738.4	1.7049	1737.4
370	1.7343	1755.4	1.7308	1754.3	1.7272	1753.1
372	1.7592	1771.9	1.7552	1770.6	1.7513	1769.4
374	1.7863	1789.1	1.7818	1787.6	1.7774	1786.2
376	1.8160	1807.0	1.8108	1805.4	1.8059	1803.8
378	1.8488	1825.8	1.8429	1823.9	1.8372	1822.1
380	1.8854	1845.5	1.8786	1843.4	1.8720	1841.4
382	1.9268	1866.6	1.9188	1864.1	1.9110	1861.7
384	1.9741	1889.1	1.9645	1886.2	1.9552	1883.5
386	2.029	1913.5	2.017	1910.0	2.006	1906.8
388	2.094	1940.2	2.079	1936.1	2.065	1932.2
390	2.171	1969.8	2.152	1964.7	2.135	1960.0
392	2.267	2003.1	2.242	1996.7	2.219	1990.8
394	2.386	2041.1	2.353	2033.0	2.322	2025.5
396	2.537	2084.6	2.491	2074.3	2.450	2064.8
398	2.726	2134.0	2.664	2121.1	2.610	2109.3
400	2.955	2188.4	2.876	2173.0	2.804	2158.7
402	3.211	2244.2	3.118	2227.4	3.031	2211.5
404	3.474	2297.4	3.372	2280.6	3.276	2264.2
406	3.728	2346.0	3.624	2329.9	3.523	2314.0
408	3.967	2389.6	3.863	2374.6	3.762	2359.5
410	4.191	2428.7	4.068	2414.7	3.986	2400.7
412	4.399	2463.9	4.297	2451.0	4.198	2437.9
414	4.593	2495.9	4.493	2483.8	4.395	2471.6
416	4.775	2525.2	4.677	2513.9	4.580	2502.5
418	4.946	2552.2	4.850	2541.6	4.755	2530.9
420	5.108	2577.3	5.013	2567.3	4.920	2557.3
422	5.261	2600.7	5.168	2591.3	5.076	2581.8
424	5.408	2622.8	5.316	2613.8	5.225	2604.8
426	5.547	2643.5	5.457	2635.0	5.367	2626.4
428	5.681	2663.2	5.592	2655.1	5.503	2646.9
430	5.810	2682.0	5.721	2674.2	5.634	2666.4
432	5.934	2699.9	5.846	2692.2	5.759	2684.9
434	6.054	2717.0	5.967	2709.9	5.880	2702.6
436	6.170	2733.5	6.084	2726.6	5.998	2719.6
438	6.283	2749.3	6.197	2742.7	6.111	2736.0
440	6.393	2764.7	6.307	2758.2	6.222	2751.8
442	6.499	2779.4	6.413	2773.2	6.329	2767.0
444	6.602	2793.8	6.517	2787.7	6.433	2781.7
446	6.703	2807.6	6.619	2801.8	6.535	2795.8
448	6.602	2821.1	6.717	2815.4	6.634	2809.7
450	6.898	2834.2	6.814	2828.7	6.731	2823.1

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 30.2 МПа		p = 30.4 МПа		p = 30.6 МПа	
350	1.5526	1610.9	1.5510	1610.4	1.5495	1609.9
352	1.5661	1623.9	1.5644	1623.3	1.5628	1622.8
354	1.5802	1637.0	1.5784	1636.4	1.5766	1635.8
356	1.5949	1650.4	1.5930	1649.7	1.5911	1649.1
358	1.6104	1663.9	1.6083	1663.3	1.6063	1662.6
360	1.6266	1677.8	1.6244	1677.1	1.6223	1676.3
362	1.6438	1691.9	1.6414	1691.1	1.6391	1690.4
364	1.6620	1706.4	1.6594	1705.5	1.6569	1704.7
366	1.6812	1721.2	1.6784	1720.2	1.6757	1719.3
368	1.7018	1736.3	1.6987	1735.3	1.6957	1734.3
370	1.7238	1752.1	1.7204	1750.9	1.7171	1749.8
372	1.7475	1768.1	1.7437	1766.9	1.7401	1765.7
374	1.7731	1784.8	1.7689	1783.4	1.7648	1782.1
376	1.8010	1802.2	1.7963	1800.7	1.7917	1799.2
378	1.8317	1820.3	1.8263	1818.6	1.8211	1817.0
380	1.8656	1839.4	1.8595	1837.4	1.8535	1835.5
382	1.9036	1859.4	1.8964	1857.2	1.8895	1855.1
384	1.9464	1880.8	1.9379	1878.2	1.9298	1875.8
386	1.9953	1903.7	1.9852	1900.7	1.9755	1897.8
388	2.052	1928.4	2.040	1924.9	2.028	1921.5
390	2.118	1955.4	2.103	1951.2	2.089	1947.2
392	2.198	1985.2	2.178	1980.1	2.160	1975.2
394	2.294	2018.6	2.269	2012.1	2.246	2006.1
396	2.414	2056.1	2.380	2048.1	2.350	2040.6
398	2.561	2098.4	2.516	2088.4	2.476	2079.2
400	2.740	2145.5	2.682	2133.4	2.630	2122.1
402	2.952	2196.4	2.879	2182.2	2.813	2169.0
404	3.186	2248.3	3.101	2233.0	3.023	2218.4
406	3.427	2298.3	3.335	2282.8	3.248	2267.7
408	3.663	2344.5	3.567	2329.5	3.476	2314.7
410	3.888	2386.6	3.791	2372.4	3.698	2358.2
412	4.100	2424.7	4.004	2411.4	3.910	2398.0
414	4.298	2459.3	4.203	2446.9	4.110	2434.4
416	4.485	2491.0	4.392	2479.4	4.299	2467.6
418	4.661	2520.1	4.569	2509.2	4.478	2498.1
420	4.828	2547.1	4.736	2536.8	4.647	2526.4
422	4.985	2572.2	4.895	2562.4	4.807	2552.6
424	5.135	2595.7	5.046	2586.4	4.959	2577.1
426	5.278	2617.8	5.191	2609.0	5.104	2600.1
428	5.415	2638.6	5.328	2630.3	5.243	2621.8
430	5.547	2658.5	5.460	2650.5	5.376	2642.4
432	5.673	2677.3	5.588	2669.7	5.504	2662.0
434	5.795	2695.4	5.711	2688.0	5.627	2680.6
436	5.913	2712.6	5.829	2705.6	5.746	2698.4
438	6.027	2729.2	5.944	2722.4	5.862	2715.5
440	6.138	2745.3	6.055	2738.7	5.974	2732.1
442	6.246	2760.7	6.163	2754.3	6.082	2747.9
444	6.350	2775.6	6.268	2769.4	6.187	2763.2
446	6.452	2790.0	6.371	2784.0	6.290	2778.0
448	6.552	2804.0	6.471	2798.2	6.390	2792.4
450	6.649	2817.6	6.568	2811.9	6.488	2806.3
	p = 30.8 МПа		p = 31.0 МПа		p = 31.2 МПа	
350	1.5479	1609.4	1.5464	1608.9	1.5449	1608.4
352	1.5611	1622.2	1.5595	1621.7	1.5579	1621.2
354	1.5749	1635.3	1.5732	1634.7	1.5714	1634.1
356	1.5893	1648.5	1.5874	1647.9	1.5856	1647.3
358	1.6043	1661.9	1.6024	1661.3	1.6004	1660.6

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 30.8 МПа		p = 31.0 МПа		p = 31.2 МПа			p = 31.4 МПа		p = 31.6 МПа		p = 31.8 МПа	
360	1.6201	1675.6	1.6180	1674.9	1.6159	1674.2	370	1.7044	1745.6	1.7014	1744.6	1.6984	1743.6
362	1.6368	1689.6	1.6345	1688.8	1.6323	1688.1	372	1.7261	1761.1	1.7228	1760.0	1.7195	1758.9
364	1.6544	1703.8	1.6519	1703.0	1.6495	1702.2	374	1.7494	1777.1	1.7457	1775.9	1.7421	1774.7
366	1.6730	1718.4	1.6703	1717.5	1.6677	1716.7	376	1.7744	1793.6	1.7704	1792.3	1.7664	1791.0
368	1.6928	1733.4	1.6898	1732.4	1.6870	1731.4	378	1.6016	1610.7	1.7971	1809.2	1.7926	1807.8
370	1.7138	1748.7	1.7106	1747.6	1.7075	1746.6	380	1.8313	1828.5	1.8262	1826.9	1.8211	1825.3
372	1.7365	1764.5	1.7329	1763.3	1.7295	1762.2	382	1.8640	1847.1	1.8581	1845.3	1.8524	1843.5
374	1.7608	1780.8	1.7569	1779.5	1.7531	1778.3	384	1.9002	1866.7	1.8934	1864.6	1.8868	1862.6
376	1.7872	1797.8	1.7829	1796.3	1.7786	1795.0	386	1.9406	1887.4	1.9327	1885.0	1.9251	1882.6
378	1.8160	1815.3	1.8111	1813.7	1.8063	1812.2	388	1.9862	1909.3	1.9769	1906.5	1.9680	1903.9
380	1.8477	1833.7	1.8421	1831.9	1.8366	1830.2	390	2.038	1932.8	2.027	1929.6	2.016	1926.5
382	1.8828	1853.0	1.8763	1851.0	1.8700	1849.0	392	2.098	1958.1	2.084	1954.3	2.072	1950.7
384	1.9220	1873.4	1.9144	1871.1	1.9072	1868.8	394	2.168	1985.5	2.151	1981.0	2.136	1976.7
386	1.9662	1895.1	1.9573	1892.4	1.9488	1889.8	396	2.250	2015.4	2.229	2010.0	2.210	2005.0
388	2.017	1918.3	2.006	1915.2	1.9959	1912.2	398	2.347	2048.4	2.321	2041.9	2.297	2035.8
390	2.075	1943.3	2.062	1939.6	2.050	1936.1	400	2.464	2084.8	2.431	2077.0	2.400	2069.6
392	2.143	1970.5	2.127	1966.2	2.112	1962.0	402	2.602	2124.5	2.561	2115.2	2.522	2106.6
394	2.224	2000.5	2.204	1995.2	2.185	1990.2	404	2.764	2167.5	2.713	2156.7	2.665	2146.5
396	2.322	2033.7	2.296	2027.2	2.272	2021.1	406	2.948	2212.7	2.886	2200.5	2.828	2189.0
398	2.440	2070.7	2.406	2062.7	2.376	2055.3	408	3.148	2258.4	3.077	2245.4	3.010	2232.9
400	2.582	2111.7	2.539	2102.0	2.500	2093.1	410	3.354	2302.9	3.276	2289.6	3.203	2276.7
402	2.753	2156.7	2.698	2145.2	2.648	2134.5	412	3.558	2344.9	3.477	2331.8	3.399	2318.9
404	2.950	2204.5	2.883	2191.4	2.821	2179.1	414	3.757	2383.9	3.674	2371.3	3.594	2358.8
406	3.165	2253.1	3.088	2239.0	3.016	2225.6	416	3.947	2419.9	3.863	2407.9	3.782	2395.9
408	3.387	2300.2	3.303	2285.9	3.223	2272.0	418	4.128	2453.1	4.044	2441.7	3.963	2430.3
410	3.607	2344.2	3.519	2330.2	3.434	2316.4	420	4.300	2483.8	4.217	2473.0	4.135	2462.2
412	3.818	2384.7	3.729	2371.3	3.642	2358.0	422	4.464	2512.4	4.381	2502.2	4.300	2491.8
414	4.019	2421.8	3.929	2409.2	3.842	2396.5	424	4.620	2539.0	4.538	2529.3	4.457	2519.5
416	4.208	2455.8	4.120	2443.8	4.032	2431.9	426	4.768	2563.9	4.687	2554.7	4.607	2545.4
418	4.388	2487.0	4.300	2475.8	4.213	2464.5	428	4.910	2587.3	4.830	2578.5	4.751	2569.7
420	4.558	2515.9	4.471	2505.3	4.385	2494.6	430	5.047	2609.5	4.967	2601.1	4.888	2592.6
422	4.719	2542.7	4.633	2532.7	4.548	2522.6	432	5.178	2630.4	5.098	2622.4	5.020	2614.3
424	4.872	2567.7	4.787	2558.2	4.703	2548.6	434	5.304	2650.3	5.225	2642.6	5.148	2634.9
426	5.018	2591.2	4.934	2582.2	4.851	2573.1	436	5.425	2669.4	5.347	2662.0	5.270	2654.5
428	5.158	2613.3	5.074	2604.7	4.992	2596.1	438	5.542	2687.5	5.465	2680.4	5.388	2673.2
430	5.292	2634.3	5.209	2626.1	5.128	2617.8	440	5.656	2705.1	5.579	2698.2	5.503	2691.3
432	5.421	2654.2	5.339	2646.3	5.258	2638.4	442	5.766	2721.8	5.690	2715.2	5.614	2708.5
434	5.545	2673.1	5.463	2665.6	5.383	2658.0	444	5.873	2738.0	5.797	2731.6	5.722	2725.1
436	5.664	2691.2	5.584	2684.0	5.504	2676.7	446	5.977	2753.6	5.901	2747.4	5.825	2741.2
438	5.780	2708.6	5.700	2701.6	5.621	2694.6	448	6.078	2768.7	6.003	2762.7	5.928	2756.6
440	5.893	2725.4	5.813	2718.7	5.734	2711.9	450	6.177	2783.3	6.102	2777.4	6.027	2771.6
442	6.002	2741.4	5.922	2735.0	5.844	2728.4							
444	6.107	2756.7	6.028	2750.7	5.950	2744.4		p = 32.0 МПа		p = 32.2 МПа		p = 32.4 МПа	
446	6.210	2772.0	6.132	2765.9	6.054	2759.7							
448	6.311	2786.5	6.232	2780.6	6.155	2774.6	350	1.5390	1606.5	1.5376	1606.1	1.5361	1605.6
							352	1.5516	1619.2	1.5501	1618.7	1.5486	1618.2
450	6.409	2800.6	6.330	2794.8	6.253	2789.1	354	1.5648	1632.0	1.5632	1631.4	1.5616	1630.9
							356	1.5785	1645.0	1.5768	1644.4	1.5751	1643.8
	p = 31.4 МПа		p = 31.6 МПа		p = 31.8 МПа		358	1.5928	1658.2	1.5910	1657.6	1.5892	1657.0
350	1.5434	1608.0	1.5419	1607.5	1.5404	1607.0	360	1.6078	1671.6	1.6059	1671.0	1.6039	1670.3
352	1.5563	1620.7	1.5547	1620.2	1.5532	1619.7	362	1.6236	1685.2	1.6215	1684.5	1.6194	1683.8
354	1.5698	1633.6	1.5681	1633.0	1.5664	1632.5	364	1.6401	1699.1	1.6378	1698.4	1.6356	1697.6
356	1.5838	1646.7	1.5820	1646.1	1.5802	1645.5	366	1.6575	1713.3	1.6551	1712.5	1.6527	1711.7
358	1.5985	1660.0	1.5966	1659.4	1.5947	1658.8	368	1.6760	1727.8	1.6733	1726.9	1.6707	1726.1
360	1.6139	1673.6	1.6118	1672.9	1.6098	1672.2	370	1.6955	1742.6	1.6926	1741.7	1.6898	1740.8
362	1.6300	1687.4	1.6279	1686.6	1.6257	1685.9	372	1.7163	1757.9	1.7132	1756.8	1.7101	1755.8
364	1.6471	1701.4	1.6447	1700.7	1.6424	1699.9	374	1.7386	1773.5	1.7351	1772.4	1.7317	1773.3
366	1.6651	1715.8	1.6625	1715.0	1.6600	1714.1	376	1.7625	1789.7	1.7586	1788.5	1.7549	1787.3
368	1.6642	1730.5	1.6814	1729.6	1.6786	1728.7	378	1.7882	1806.4	1.7840	1805.0	1.7798	1803.7

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 32.0 МПа		p = 32.2 МПа		p = 32.4 МПа	
380	1.8162	1823.7	1.8115	1822.2	1.8068	1820.7
382	1.8468	1841.7	1.8414	1840.0	1.8362	1838.4
384	1.8805	1860.6	1.8744	1858.7	1.8684	1856.8
386	1.9178	1880.4	1.9107	1878.2	1.9039	1876.1
388	1.9595	1901.3	1.9512	1898.8	1.9433	1896.4
390	2.006	1923.5	1.9967	1920.7	1.9874	1917.9
392	2.060	1947.2	2.048	1943.9	2.037	1940.7
394	2.121	1972.7	2.107	1968.8	2.094	1965.1
396	2.192	2000.2	2.175	1995.6	2.159	1991.3
398	2.274	2030.1	2.254	2024.7	2.234	2019.6
400	2.372	2062.8	2.346	2056.4	2.321	2050.3
402	2.487	2098.4	2.454	2090.8	2.424	2083.6
404	2.621	2136.9	2.580	2128.0	2.543	2119.6
406	2.775	2178.1	2.726	2167.8	2.680	2158.1
408	2.948	2221.0	2.890	2210.0	2.835	2198.7
410	3.133	2264.2	3.067	2252.1	3.006	2240.4
412	3.325	2306.3	3.253	2294.0	3.185	2281.9
414	3.516	2346.4	3.441	2334.2	3.369	2322.1
416	3.703	2383.9	3.626	2372.0	3.551	2360.3
418	3.883	2418.9	3.805	2407.4	3.729	2396.1
420	4.055	2451.3	3.977	2440.4	3.900	2429.5
422	4.220	2481.5	4.142	2471.1	4.065	2460.7
424	4.378	2509.7	4.300	2500.0	4.223	2489.9
426	4.529	2536.0	4.451	2526.6	4.375	2517.1
428	4.673	2560.7	4.596	2551.8	4.520	2542.7
430	4.811	2584.1	4.734	2575.5	4.659	2566.9
432	4.943	2606.1	4.867	2597.9	4.792	2589.7
434	5.071	2627.1	4.996	2619.2	4.921	2611.3
436	5.194	2647.0	5.119	2639.4	5.045	2631.8
438	5.313	2666.0	5.238	2658.8	5.165	2651.5
440	5.428	2684.3	5.354	2677.4	5.281	2670.3
442	5.539	2701.8	5.465	2695.1	5.393	2688.3
444	5.647	2718.7	5.574	2712.1	5.501	2705.6
446	5.752	2734.9	5.679	2728.6	5.607	2722.4
448	5.854	2750.5	5.781	2744.4	5.709	2738.3
450	5.954	2765.7	5.881	2759.8	5.809	2753.8
	p = 32.6 МПа		p = 32.8 МПа		p = 33.0 МПа	
350	1.5347	1605.2	1.5333	1604.7	1.5319	1604.3
352	1.5471	1617.7	1.5456	1617.2	1.5441	1616.8
354	1.5600	1630.4	1.5584	1629.9	1.5568	1629.4
356	1.5734	1643.3	1.5717	1642.8	1.5701	1642.2
358	1.5874	1656.4	1.5856	1655.8	1.5838	1655.2
360	1.6020	1669.7	1.6001	1669.0	1.5982	1668.4
362	1.6173	1683.2	1.6153	1682.5	1.6133	1681.8
364	1.6334	1696.9	1.6312	1696.2	1.6291	1695.5
366	1.6503	1710.9	1.6480	1711.0	1.6457	1709.4
368	1.6682	1725.2	1.6656	1724.4	1.6631	1723.6
370	1.6870	1739.9	1.6843	1739.0	1.6816	1738.1
372	1.7070	1754.8	1.7041	1753.8	1.7011	1752.9
374	1.7284	1770.2	1.7251	1769.1	1.7219	1768.1
376	1.7512	1786.1	1.7476	1784.9	1.7441	1783.7
378	1.7758	1802.4	1.7718	1801.1	1.7679	1799.8
380	1.8023	1819.2	1.7979	1817.8	1.7935	1816.4
382	1.8311	1836.7	1.8261	1835.2	1.8213	1833.6
384	1.8626	1855.0	1.8570	1853.2	1.8515	1851.5
386	1.8972	1874.1	1.8908	1872.1	1.8846	1870.1
388	1.9356	1894.1	1.9282	1891.8	1.9211	1889.7

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 32.6 МПа		p = 32.8 МПа		p = 33.0 МПа	
390	1.9784	1915.3	1.9698	1912.7	1.9616	1910.2
392	2.027	1937.7	2.016	1934.7	2.007	1931.9
394	2.081	1961.6	2.069	1958.2	2.058	1954.9
396	2.144	1987.2	2.129	1983.2	2.116	1979.4
398	2.215	2014.7	2.198	2010.1	2.181	2005.7
400	2.299	2044.5	2.277	2039.1	2.257	2033.9
402	2.396	2076.8	2.369	2070.4	2.345	2064.4
404	2.508	2111.7	2.476	2104.2	2.446	2097.1
406	2.638	2149.0	2.599	2140.4	2.562	2132.2
408	2.785	2188.4	2.738	2178.7	2.694	2169.4
410	2.947	2229.2	2.893	2218.5	2.842	2208.3
412	3.121	2270.2	3.060	2258.9	3.002	2248.0
414	3.300	2310.3	3.233	2298.7	3.170	2287.5
416	3.479	2348.6	3.409	2337.1	3.342	2325.8
418	3.655	2384.8	3.583	2373.5	3.513	2362.4
420	3.826	2418.6	3.752	2407.8	3.681	2397.0
422	3.990	2450.3	3.916	2439.9	3.844	2429.5
424	4.148	2479.9	4.074	2469.9	4.002	2460.0
426	4.300	2507.6	4.226	2498.1	4.154	2488.6
428	4.445	2533.7	4.372	2524.6	4.299	2515.4
430	4.585	2558.2	4.511	2549.5	4.439	2540.7
432	4.719	2581.4	4.646	2573.0	4.574	2564.6
434	4.848	2603.3	4.775	2595.3	4.704	2587.3
436	4.972	2624.2	4.900	2616.5	4.829	2608.8
438	5.092	2644.1	5.020	2636.7	4.949	2629.3
440	5.208	2663.2	5.137	2656.1	5.066	2649.0
442	5.320	2681.5	5.250	2674.6	5.179	2667.7
444	5.430	2699.0	5.359	2692.4	5.289	2685.7
446	5.535	2715.8	5.465	2709.4	5.395	2703.0
448	5.638	2732.1	5.568	2725.9	5.499	2719.7
450	5.738	2747.8	5.668	2741.8	5.599	2735.8
	p = 33.2 МПа		p = 33.4 МПа		p = 33.6 МПа	
350	1.5305	1603.8	1.5292	1603.4	1.5278	1603.0
352	1.5427	1616.3	1.5412	1615.8	1.5398	1615.4
354	1.5553	1628.9	1.5538	1628.4	1.5522	1627.9
356	1.5684	1641.7	1.5668	1641.2	1.5652	1640.6
358	1.5821	1654.6	1.5804	1654.1	1.5787	1653.5
360	1.5964	1667.8	1.5945	1667.2	1.5927	1666.6
362	1.6113	1681.2	1.6096	1680.5	1.6074	1679.9
364	1.6270	1694.8	1.6249	1694.1	1.6228	1693.4
366	1.6434	1708.6	1.6411	1707.9	1.6389	1707.2
368	1.6607	1722.8	1.6582	1722.0	1.6558	1721.2
370	1.6789	1737.2	1.6763	1736.3	1.6737	1735.5
372	1.6982	1751.9	1.6954	1751.0	1.6926	1750.1
374	1.7188	1767.0	1.7157	1766.0	1.7126	1765.0
376	1.7406	1782.6	1.7372	1781.5	1.7339	1780.4
378	1.7641	1798.6	1.7603	1797.4	1.7567	1796.2
380	1.7893	1815.0	1.7852	1813.7	1.7811	1812.4
382	1.8165	1832.1	1.8119	1830.6	1.8074	1829.2
384	1.8462	1849.8	1.8410	1848.2	1.8359	1846.5
386	1.8786	1868.2	1.8727	1866.4	1.8670	1864.6
388	1.9142	1887.5	1.9075	1885.5	1.9010	1883.5
390	1.9536	1907.8	1.9459	1905.5	1.9385	1903.2
392	1.9976	1929.2	1.9887	1926.5	1.9800	1924.0
394	2.047	1951.8	2.036	1948.8	2.026	1945.8
396	2.102	1975.8	2.090	1972.4	2.078	1969.0
398	2.166	2001.5	2.151	1997.5	2.137	1993.6

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 33.2 МПа		p = 33.4 МПа		p = 33.6 МПа			p = 33.8 МПа		p = 34.0 МПа		p = 34.2 МПа	
400	2.238	2029.0	2.221	2024.1	2.204	2019.9	410	2.668	2172.1	2.631	2164.1	2.597	2156.5
402	2.322	2058.6	2.300	2053.2	2.280	2048.0	412	2.802	2208.5	2.759	2199.7	2.719	2191.2
404	2.418	2090.5	2.392	2084.1	2.367	2078.1	414	2.947	2245.8	2.899	2236.2	2.853	2227.1
406	2.528	2124.5	2.497	2117.2	2.467	2110.3	416	3.101	2283.0	3.047	2273.0	2.996	2263.4
408	2.654	2160.7	2.616	2152.4	2.580	2144.5	418	3.258	2319.6	3.201	2309.4	3.145	2299.4
410	2.794	2198.6	2.749	2189.3	2.707	2180.5	420	3.417	2354.8	3.356	2344.6	3.298	2334.6
412	2.947	2237.5	2.896	2227.4	2.848	2217.7	422	3.574	2388.4	3.512	2378.4	3.450	2368.4
414	3.110	2276.5	3.053	2265.9	2.999	2255.6	424	3.728	2420.3	3.664	2410.5	3.601	2400.7
416	3.278	2314.7	3.216	2303.9	3.157	2293.3	426	3.878	2450.3	3.813	2440.8	3.749	2431.1
418	3.446	2351.5	3.381	2340.6	3.319	2330.0	428	4.023	2478.7	3.957	2469.5	3.893	2460.4
420	3.612	2383.3	3.545	2375.7	3.480	2365.2	430	4.163	2505.5	4.097	2496.6	4.032	2487.8
422	3.774	2419.1	3.706	2408.8	3.639	2398.6	432	4.298	2530.8	4.232	2522.3	4.166	2513.8
424	3.931	2450.0	3.862	2440.1	3.794	2430.1	434	4.428	2554.8	4.362	2546.6	4.297	2538.4
426	4.083	2479.0	4.013	2469.4	3.945	2459.9	436	4.554	2577.6	4.488	2569.7	4.423	2561.8
428	4.228	2506.2	4.158	2497.1	4.090	2487.9	438	4.676	2599.2	4.610	2591.6	4.545	2584.0
430	4.368	2531.9	4.299	2523.1	4.230	2514.3	440	4.794	2620.0	4.728	2612.7	4.663	2605.3
432	4.503	2556.2	4.434	2547.8	4.365	2539.3	442	4.908	2639.8	4.842	2632.7	4.778	2625.6
434	4.633	2579.2	4.564	2571.1	4.496	2563.0	444	5.018	2658.7	4.953	2651.9	4.889	2645.0
436	4.759	2601.0	4.690	2593.2	4.621	2585.4	446	5.126	2676.9	5.061	2670.3	4.996	2663.7
438	4.880	2621.8	4.811	2614.3	4.743	2606.8	448	5.230	2694.4	5.165	2688.0	5.101	2681.6
440	4.997	2641.6	4.928	2634.5	4.861	2627.3	450	5.331	2711.3	5.267	2705.1	5.202	2698.9
442	5.110	2660.8	5.042	2653.8	4.974	2646.8							
444	5.220	2679.0	5.152	2672.3	5.085	2665.5		p = 34.4 МПа		p = 34.6 МПа		p = 34.8 МПа	
446	5.327	2696.5	5.259	2690.0	5.192	2683.5							
448	5.430	2713.4	5.363	2707.1	5.296	2700.8	350	1.5225	1601.3	1.5212	1600.9	1.5199	1600.5
							352	1.5342	1613.6	1.5328	1613.1	1.5314	1612.7
450	5.531	2729.7	5.464	2723.6	5.397	2717.5	354	1.5463	1626.0	1.5449	1625.6	1.5434	1625.1
							356	1.5589	1638.6	1.5574	1638.1	1.5559	1637.6
	p = 33.8 МПа		p = 34.0 МПа		p = 34.2 МПа		358	1.5720	1651.4	1.5704	1650.8	1.5688	1650.3
350	1.5264	1602.6	1.5251	1602.1	1.5238	1601.7	360	1.5856	1664.3	1.5839	1663.7	1.5822	1663.2
352	1.5384	1614.9	1.5370	1614.5	1.5356	1614.0	362	1.5999	1677.4	1.5980	1676.8	1.5962	1676.2
354	1.5507	1627.4	1.5492	1627.0	1.5478	1626.5	364	1.6147	1690.8	1.6128	1690.1	1.6108	1689.5
356	1.5636	1640.1	1.5620	1639.6	1.5605	1639.1	366	1.6303	1704.3	1.6282	1703.6	1.6261	1703.0
358	1.5770	1653.0	1.5753	1652.4	1.5736	1651.9	368	1.6466	1718.1	1.6444	1717.4	1.6422	1716.6
360	1.5909	1666.0	1.5892	1665.4	1.5874	1664.9	370	1.6637	1732.2	1.6614	1731.4	1.6590	1730.6
362	1.6055	1679.3	1.6036	1678.7	1.6017	1678.0	372	1.6818	1746.5	1.6792	1745.7	1.6767	1744.8
364	1.6207	1692.7	1.6187	1692.1	1.6167	1691.4	374	1.7009	1761.2	1.6981	1760.2	1.6953	1759.3
366	1.6367	1706.4	1.6345	1705.7	1.6324	1705.0	376	1.7212	1776.2	1.7181	1775.2	1.7151	1774.2
368	1.6535	1720.4	1.6512	1719.6	1.6489	1718.9	378	1.7427	1791.6	1.7394	1790.5	1.7361	1789.4
370	1.6712	1734.6	1.6687	1733.8	1.6662	1733.0	380	1.7657	1807.4	1.7620	1806.2	1.7584	1805.0
372	1.6898	1749.2	1.6871	1748.3	1.6844	1747.4	382	1.7904	1823.7	1.7863	1822.4	1.7824	1821.1
374	1.7096	1764.0	1.7067	1763.1	1.7038	1762.1	384	1.8169	1840.5	1.8124	1839.0	1.8080	1837.6
376	1.7306	1779.3	1.7274	1778.3	1.7243	1777.2	386	1.8456	1857.9	1.8406	1856.3	1.8358	1854.8
378	1.7531	1795.0	1.7496	1793.8	1.7461	1792.7	388	1.8769	1876.0	1.8712	1874.2	1.8658	1872.5
380	1.7771	1811.1	1.7732	1809.8	1.7694	1808.6	390	1.9110	1894.5	1.9048	1892.8	1.8985	1890.9
382	1.8030	1827.7	1.7987	1826.4	1.7945	1825.0	392	1.9485	1914.5	1.9412	1912.3	1.9342	1910.2
384	1.8310	1845.0	1.8262	1843.4	1.8215	1842.0	394	1.9898	1935.1	1.9816	1932.7	1.9736	1930.3
386	1.8614	1862.9	1.8560	1861.2	1.8508	1859.5	396	2.036	1956.8	2.026	1954.0	2.017	1951.3
388	1.8947	1881.5	1.8886	1879.6	1.8826	1877.8	398	2.087	1979.7	2.076	1976.6	2.065	1973.5
390	1.9313	1901.0	1.9243	1898.9	1.9176	1896.8	400	2.145	2003.9	2.132	2000.3	2.119	1990.8
392	1.9717	1921.5	1.9637	1919.1	1.9560	1916.8	402	2.209	2029.6	2.194	2025.5	2.179	2021.5
394	2.017	1943.0	2.007	1940.3	1.9985	1937.7	404	2.283	2056.9	2.264	2052.2	2.247	2047.7
396	2.067	1965.8	2.056	1962.7	2.046	1959.7	406	2.366	2085.9	2.344	2080.6	2.323	2075.4
398	2.124	1990.0	2.111	1986.4	2.099	1983.0	408	2.459	2116.8	2.434	2110.6	2.409	2104.8
400	2.188	2015.6	2.173	2011.6	2.158	2007.7	410	2.565	2149.2	2.534	2142.3	2.506	2135.7
402	2.261	2043.1	2.243	2038.4	2.226	2033.9	412	2.682	2183.2	2.646	2175.5	2.613	2168.1
404	2.344	2072.4	2.322	2067.0	2.302	2061.8	414	2.810	2218.3	2.769	2209.9	2.730	2201.8
406	2.439	2103.8	2.413	2097.5	2.389	2091.6	416	2.948	2254.0	2.902	2245.0	2.858	2236.3
408	2.547	2137.0	2.516	2129.9	2.487	2123.2	418	3.093	2289.7	3.042	2280.3	2.994	2271.1

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 34.4 МПа		p = 34.6 МПа		p = 34.8 МПа			p = 35.0 МПа		p = 35.2 МПа		p = 35.4 МПа	
420	3.241	2324.7	3.187	2315.1	3.135	2305.7	430	3.786	2452.7	3.728	2444.0	3.671	2435.3
422	3.392	2358.6	3.334	2349.0	3.279	2339.5	432	3.919	2479.8	3.860	2471.3	3.802	2462.9
424	3.540	2391.1	3.481	2381.5	3.424	2372.1	434	4.048	2505.6	3.989	2497.4	3.930	2489.2
426	3.687	2422.0	3.626	2412.6	3.567	2403.3	436	4.174	2530.1	4.114	2522.2	4.055	2514.2
428	3.830	2451.2	3.763	2442.2	3.708	2433.1	438	4.295	2553.4	4.235	2545.8	4.176	2538.1
430	3.963	2479.0	3.906	2470.2	3.845	2461.4	440	4.414	2575.8	4.354	2568.4	4.295	2561.0
432	4.103	2505.3	4.040	2496.8	3.979	2488.3	442	4.528	2597.1	4.468	2589.8	4.409	2582.8
434	4.233	2530.2	4.170	2522.0	4.109	2513.8	444	4.639	2617.5	4.579	2610.5	4.520	2603.6
436	4.359	2553.9	4.296	2546.0	4.234	2538.0	446	4.747	2637.0	4.687	2630.3	4.628	2623.6
438	4.481	2576.4	4.418	2568.8	4.356	2561.1	448	4.852	2655.8	4.792	2649.3	4.733	2642.8
440	4.600	2598.0	4.537	2590.6	4.475	2583.2	450	4.954	2673.9	4.894	2667.6	4.836	2661.2
442	4.714	2618.5	4.651	2611.4	4.589	2604.3							
444	4.825	2638.2	4.762	2631.3	4.700	2624.4		p = 35.6 МПа		p = 35.8 МПа		p = 36.0 МПа	
446	4.933	2657.1	4.870	2650.4	4.808	2643.7							
448	5.037	2675.2	4.975	2668.8	4.913	2662.3	350	1.5148	1598.9	1.5136	1598.5	1.5123	1598.1
							352	1.5261	1611.0	1.5248	1610.6	1.5235	1610.2
450	5.139	2692.7	5.077	2686.4	5.015	2680.2	354	1.5378	1623.3	1.5364	1622.9	1.5350	1622.4
							356	1.5499	1635.7	1.5485	1635.3	1.5470	1634.8
	p = 35.0 МПа		p = 35.2 МПа		p = 35.4 МПа		358	1.5625	1648.3	1.5610	1647.8	1.5594	1647.3
350	1.5186	1600.1	1.5173	1599.7	1.5161	1599.3	360	1.5756	1661.0	1.5739	1660.5	1.5723	1660.0
352	1.5301	1612.3	1.5287	1611.9	1.5274	1611.4	362	1.5892	1673.9	1.5874	1673.4	1.5857	1672.8
354	1.5420	1624.6	1.5406	1624.2	1.5392	1623.7	364	1.6033	1687.0	1.6015	1686.4	1.5997	1685.8
356	1.5544	1637.1	1.5529	1636.7	1.5514	1636.2	366	1.6181	1700.3	1.6162	1699.7	1.6142	1699.1
358	1.5672	1649.8	1.5656	1649.3	1.5640	1648.8	368	1.6336	1713.8	1.6315	1713.2	1.6294	1712.5
360	1.5805	1662.6	1.5789	1662.1	1.5772	1661.6	370	1.6498	1727.6	1.6475	1726.8	1.6453	1726.1
362	1.5944	1675.6	1.5926	1675.1	1.5909	1674.5	372	1.6668	1741.6	1.6644	1740.8	1.6620	1740.0
364	1.6089	1688.9	1.6070	1688.2	1.6052	1687.6	374	1.6847	1755.8	1.6821	1755.0	1.6796	1754.2
366	1.6241	1702.3	1.6221	1701.6	1.6201	1701.0	376	1.7035	1770.4	1.7008	1769.5	1.6980	1768.6
368	1.6400	1715.9	1.6378	1715.2	1.6357	1714.5	378	1.7235	1785.3	1.7205	1784.3	1.7175	1783.4
370	1.6566	1729.8	1.6543	1729.1	1.6520	1728.3	380	1.7447	1800.6	1.7414	1799.5	1.7382	1798.4
372	1.6741	1744.0	1.6716	1743.2	1.6692	1742.4	382	1.7673	1816.2	1.7637	1815.0	1.7602	1813.9
374	1.6926	1758.4	1.6899	1757.6	1.6873	1756.7	384	1.7914	1832.3	1.7875	1831.0	1.7836	1829.8
376	1.7121	1773.3	1.7092	1772.3	1.7064	1771.4	386	1.8173	1848.9	1.8130	1847.5	1.8087	1846.1
378	1.7329	1788.4	1.7297	1787.3	1.7266	1786.3	388	1.8452	1866.0	1.8404	1864.5	1.8357	1863.0
380	1.7549	1803.9	1.7515	1802.8	1.7481	1801.7	390	1.8754	1883.8	1.8700	1882.1	1.8648	1880.4
382	1.7785	1819.8	1.7747	1818.6	1.7710	1817.4	392	1.9082	1902.2	1.9022	1900.3	1.8963	1898.5
384	1.8038	1836.3	1.7996	1834.9	1.7955	1833.6	394	1.9440	1921.4	1.9372	1919.3	1.9305	1917.2
386	1.8310	1853.2	1.8263	1851.8	1.8218	1850.3	396	1.9832	1941.4	1.9754	1939.0	1.9679	1936.8
388	1.8604	1870.8	1.8552	1869.2	1.8502	1867.6	398	2.026	1962.3	2.018	1959.7	2.009	1957.1
390	1.8925	1889.1	1.8866	1887.3	1.8810	1885.5	400	2.074	1984.2	2.064	1981.2	2.054	1278.4
392	1.9274	1908.1	1.9208	1906.1	1.9144	1904.1	402	2.127	2007.2	2.115	2003.9	2.104	2000.7
394	1.9658	1927.9	1.9583	1925.7	1.9510	1923.5	404	2.186	2031.4	2.172	2027.7	2.159	2024.1
396	2.008	1948.7	1.9995	1946.2	1.9912	1943.7	406	2.251	2056.9	2.235	2052.7	2.220	2048.7
398	2.055	1970.6	2.045	1967.7	2.036	1964.9	408	2.324	2083.8	2.306	2079.1	2.288	2074.6
400	2.107	1993.5	2.096	1990.3	2.085	1987.2	410	2.406	2112.1	2.384	2106.8	2.364	2101.8
402	2.165	2017.7	2.152	2014.1	2.139	2010.6	412	2.497	2141.8	2.471	2135.9	2.448	2130.2
404	2.230	2043.4	2.215	2039.2	2.200	2035.2	414	2.597	2172.7	2.568	2166.2	2.540	2159.9
406	2.304	2070.5	2.285	2065.8	2.268	2061.2	416	2.706	2204.7	2.673	2197.5	2.641	2190.7
408	2.386	2099.2	2.364	2093.8	2.344	2088.7	418	2.824	2237.4	2.786	2229.7	2.751	2222.3
410	2.478	2129.4	2.453	2123.4	2.429	2117.6	420	2.949	2270.5	2.907	2262.3	2.868	2254.4
412	2.581	2161.1	2.551	2154.4	2.523	2148.0	422	3.079	2303.4	3.034	2294.9	2.991	2286.7
414	2.694	2194.0	2.660	2186.6	2.627	2179.5	424	3.213	2335.8	3.165	2327.2	3.118	2318.7
416	2.817	2227.9	2.778	2219.9	2.741	2212.1	426	3.348	2367.3	3.297	2358.6	3.248	2350.0
418	2.948	2262.2	2.904	2253.7	2.863	2245.4	428	3.482	2397.6	3.430	2389.0	3.379	2380.5
420	3.085	2296.5	3.038	2287.6	2.992	2278.9	430	3.615	2426.7	3.561	2418.2	3.509	2409.8
422	3.226	2330.2	3.175	2321.0	3.126	2312.1	432	3.746	2454.5	3.691	2446.2	3.637	2438.0
424	3.368	2362.8	3.315	2353.6	3.263	2344.6	434	3.873	2481.1	3.817	2472.9	3.763	2464.9
426	3.510	2394.2	3.454	2385.1	3.400	2376.1	436	3.998	2506.3	3.941	2498.5	3.886	2490.6
428	3.649	2424.1	3.592	2415.2	3.536	2406.4	438	4.119	2530.5	4.062	2522.8	4.006	2515.2

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 35.6 МПа		p = 35.8 МПа		p = 36.0 МПа			p = 36.8 МПа		p = 37.0 МПа		p = 37.2 МПа	
440	4.236	2553.6	4.179	2546.2	4.123	2538.7	350	1.5075	1596.6	1.5063	1596.3	1.5051	1595.9
442	4.351	2575.6	4.294	2568.4	4.237	2561.2	352	1.5184	1608.6	1.5172	1608.2	1.5159	1607.8
444	4.462	2596.6	4.405	2589.7	4.348	2582.7	354	1.5297	1620.7	1.5284	1620.3	1.5271	1619.9
446	4.570	2616.8	4.512	2610.1	4.456	2603.3	356	1.5414	1633.0	1.5400	1632.6	1.5386	1632.1
448	4.675	2636.2	4.617	2629.7	4.561	2623.1	358	1.5535	1645.4	1.5520	1644.9	1.5506	1644.5
450	4.777	2654.9	4.720	2648.6	4.663	2642.2	360	1.5660	1658.0	1.5645	1657.5	1.5630	1657.0
							362	1.5791	1670.7	1.5774	1670.1	1.5758	1669.6
	p = 36.2 МПа		p = 36.4 МПа		p = 36.6 МПа		364	1.5926	1683.5	1.5909	1683.0	1.5892	1682.4
350	1.5111	1597.7	1.5099	1597.4	1.5087	1597.0	366	1.6067	1696.6	1.6049	1696.0	1.6031	1695.4
352	1.5222	1609.8	1.5209	1609.4	1.5197	1609.0	368	1.6214	1709.9	1.6195	1709.2	1.6176	1708.6
354	1.5337	1622.0	1.5323	1621.6	1.5310	1621.2	370	1.6368	1723.3	1.6347	1722.6	1.6327	1722.0
356	1.5456	1634.3	1.5442	1633.9	1.5428	1633.4	372	1.6529	1737.0	1.6507	1736.3	1.6485	1735.5
358	1.5579	1646.8	1.5564	1646.4	1.5550	1645.9	374	1.6698	1750.9	1.6674	1750.2	1.6650	1749.4
360	1.5707	1659.5	1.5692	1659.0	1.5676	1658.4	376	1.6875	1765.2	1.6849	1764.3	1.6824	1763.5
362	1.5840	1672.3	1.5824	1671.7	1.5807	1671.2	378	1.7061	1779.6	1.7034	1778.7	1.7007	1777.8
364	1.5979	1685.3	1.5961	1684.7	1.5944	1684.1	380	1.7258	1794.4	1.7229	1793.4	1.7200	1792.5
366	1.6123	1698.4	1.6104	1697.8	1.6086	1697.2	382	1.7467	1809.5	1.7435	1808.5	1.7403	1807.4
368	1.6274	1711.8	1.6254	1711.2	1.6234	1710.5	384	1.7689	1825.0	1.7654	1823.9	1.7619	1822.8
370	1.6432	1725.4	1.6410	1724.7	1.6389	1724.0	386	1.7926	1840.9	1.7887	1839.7	1.7849	1838.5
372	1.6597	1739.2	1.6574	1738.5	1.6551	1737.7	388	1.8178	1857.3	1.8136	1856.0	1.8094	1854.6
374	1.6770	1653.3	1.6746	1752.5	1.6722	1751.7	390	1.8450	1874.2	1.8403	1872.7	1.8357	1871.2
376	1.6953	1767.7	1.6927	1766.9	1.6900	1766.0	392	1.8742	1891.6	1.8690	1890.0	1.8639	1888.4
378	1.7146	1782.4	1.7118	1781.5	1.7089	1780.5	394	1.9058	1909.6	1.9000	1907.8	1.8943	1906.1
380	1.7350	1797.4	1.7319	1796.4	1.7289	1795.4	396	1.9400	1928.3	1.9335	1926.4	1.9272	1924.4
382	1.7567	1812.8	1.7534	1811.7	1.7500	1810.6	398	1.9773	1947.8	1.9700	1945.6	1.9629	1943.4
384	1.7798	1828.6	1.7761	1827.4	1.7725	1826.2	400	2.018	1968.0	2.010	1965.6	2.002	1963.2
386	1.8046	1844.8	1.8005	1843.5	1.7965	1842.2	402	2.063	1989.1	2.053	1986.4	2.044	1983.8
388	1.8311	1861.5	1.8266	1860.1	1.8222	1858.7	404	2.112	2011.1	2.101	2008.1	2.091	2005.2
390	1.8596	1878.8	1.8546	1877.2	1.8497	1875.7	406	2.166	2034.1	2.153	2030.7	2.141	2027.5
392	1.8905	1896.7	1.8849	1895.0	1.8795	1893.3	408	2.255	2058.2	2.211	2054.4	2.197	2050.8
394	1.9241	1915.3	1.9178	1913.4	1.9117	1911.5	410	2.291	2083.4	2.274	2079.2	2.259	2075.2
396	1.9606	1934.6	1.9536	1932.4	1.9467	1930.4	412	2.363	2109.7	2.344	2105.1	2.327	2100.6
398	2.001	1954.7	1.9926	1952.3	1.9848	1950.0	414	2.443	2137.2	2.421	2132.0	2.401	2127.1
400	2.044	1975.7	2.036	1973.1	2.027	1970.5	416	2.530	2165.7	2.506	2160.1	2.482	2154.6
402	2.093	1997.7	2.082	1994.7	2.072	1991.8	418	2.625	2195.2	2.597	2189.0	2.571	2183.0
404	2.146	2020.7	2.134	2017.4	2.123	2014.2	420	2.727	2225.3	2.696	2218.7	2.666	2212.3
406	2.206	2044.9	2.192	2041.2	2.178	2037.6	422	2.836	2256.0	2.801	2248.9	2.768	2242.0
408	2.271	2070.2	2.255	2066.1	2.240	2062.0	424	2.950	2286.8	2.912	2279.4	2.876	2272.2
410	2.344	2096.9	2.325	2092.2	2.308	2087.9	426	3.069	2317.5	3.028	2309.8	2.989	2302.3
412	2.425	2124.8	2.403	2119.6	2.383	2114.6	428	3.190	2347.7	3.147	2339.8	3.105	2332.1
414	2.514	2153.9	2.489	2148.1	2.465	2142.5	430	3.312	2377.1	3.267	2369.2	3.223	2361.4
416	2.611	2184.1	2.583	2177.7	2.556	2171.6	432	3.435	2405.6	3.388	2397.7	3.342	2390.0
418	2.717	2215.1	2.685	2208.2	2.654	2201.6	434	3.556	2433.1	3.508	2425.3	3.460	2417.6
420	2.830	2246.8	2.794	2239.4	2.760	2232.2	436	3.676	2459.5	3.626	2451.9	3.578	2444.3
422	2.949	2278.7	2.910	2270.9	2.872	2263.3	438	3.793	2484.9	3.743	2477.4	3.693	2469.9
424	3.074	2310.4	3.031	2302.4	2.990	2294.5	440	3.909	2509.2	3.858	2501.9	3.807	2494.6
426	3.201	2341.6	3.155	2333.4	3.111	2325.4	442	4.021	2532.5	3.969	2525.4	3.919	2518.3
428	3.329	2372.1	3.281	2363.8	3.235	2355.6	444	4.131	2554.9	4.079	2547.9	4.028	2541.0
430	3.457	2401.5	3.408	2393.2	3.359	2385.1	446	4.238	2576.3	4.186	2569.5	4.134	2562.8
432	3.584	2429.7	3.533	2421.6	3.483	2413.6	448	4.342	2596.9	4.290	2590.3	4.238	2583.8
434	3.709	2456.8	3.657	2448.9	3.606	2440.9							
436	3.832	2482.8	3.778	2475.0	3.727	2467.2	450	4.444	2616.7	4.392	2610.3	4.340	2603.9
438	3.951	2507.6	3.897	2500.0	3.845	2492.4							
								p = 37.4 МПа		p = 37.6 МПа		p = 37.8 МПа	
440	4.068	2531.3	4.014	2524.0	3.961	2516.6							
442	4.182	2554.1	4.127	2546.8	4.074	2539.7	350	1.5039	1595.5	1.5028	1595.2	1.5016	1594.8
444	4.292	2575.7	4.238	2568.8	4.184	2561.8	352	1.5147	1607.5	1.5135	1607.1	1.5122	1606.7
446	4.400	2596.6	4.345	2589.8	4.291	2583.0	354	1.5258	1619.5	1.5245	1619.1	1.5232	1618.7
448	4.505	2616.6	4.450	2610.0	4.396	2603.5	356	1.5373	1631.7	1.5359	1631.3	1.5346	1630.9
450	4.607	2635.8	4.552	2629.5	4.498	2623.1	358	1.5491	1644.0	1.5477	1643.6	1.5463	1643.1

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 37.4 МПа		p = 37.6 МПа		p = 37.8 МПа			p = 38.0 МПа		p = 38.2 МПа		p = 38.4 МПа	
360	1.5615	1656.5	1.5600	1656.0	1.5585	1655.5	370	1.6247	1719.4	1.6228	1718.7	1.6209	1718.1
362	1.5742	1669.1	1.5727	1668.6	1.5711	1668.1	372	1.6400	1732.8	1.6379	1732.1	1.6359	1731.4
364	1.5875	1681.9	1.5858	1681.3	1.5842	1680.8	374	1.6560	1746.4	1.6538	1745.7	1.6516	1745.0
366	1.6013	1694.8	1.5995	1694.3	1.5978	1693.7	376	1.6727	1760.3	1.6703	1759.5	1.6680	1758.8
368	1.6157	1708.0	1.6138	1707.4	1.6119	1706.8	378	1.6902	1774.4	1.6877	1773.6	1.6852	1772.8
370	1.6307	1721.3	1.6287	1720.6	1.6267	1720.0	380	1.7087	1788.8	1.7060	1787.9	1.7033	1787.0
372	1.6463	1734.8	1.6442	1734.2	1.6421	1733.5	382	1.7281	1803.5	1.7252	1802.5	1.7223	1801.6
374	1.6627	1748.6	1.6604	1747.9	1.6582	1747.1	384	1.7487	1818.4	1.7455	1817.4	1.7424	1816.4
376	1.6799	1762.7	1.6775	1761.9	1.6751	1761.1	386	1.7705	1833.8	1.7671	1832.7	1.7637	1831.6
378	1.6980	1777.0	1.6954	1776.1	1.6928	1775.2	388	1.7937	1849.6	1.7899	1848.3	1.7862	1847.2
380	1.7171	1791.5	1.7142	1790.6	1.7114	1789.7	390	1.8184	1865.7	1.8142	1864.4	1.8102	1863.1
382	1.7372	1806.4	1.7341	1805.4	1.7311	1804.4	392	1.8448	1882.3	1.8402	1880.9	1.8358	1879.5
384	1.7586	1821.6	1.7552	1820.6	1.7519	1819.5	394	1.8731	1899.5	1.8681	1897.3	1.8632	1896.4
386	1.7812	1837.3	1.7776	1836.1	1.7740	1834.9	396	1.9036	1917.2	1.8980	1915.4	1.8926	1913.4
388	1.8054	1853.3	1.8014	1852.0	1.7975	1850.8	398	1.9365	1935.4	1.9303	1933.6	1.9243	1931.7
390	1.8312	1869.8	1.8269	1868.4	1.8226	1867.1	400	1.9721	1954.4	1.9652	1952.3	1.9585	1950.3
392	1.8590	1886.8	1.8541	1885.3	1.8494	1883.8	402	2.011	1974.0	2.003	1971.7	1.9954	1969.5
394	1.8888	1904.4	1.8835	1902.7	1.8782	1901.1	404	2.053	1994.3	2.044	1991.8	2.036	1989.4
396	1.9211	1922.6	1.9151	1920.7	1.9093	1918.9	406	2.098	2015.5	2.089	2012.7	2.079	2010.0
398	1.9560	1941.4	1.9493	1939.3	1.9428	1937.4	408	2.148	2037.5	2.137	2034.4	2.126	2031.4
400	1.9940	1960.9	1.9865	1958.7	1.9792	1956.5	410	2.203	2060.4	2.190	2057.0	2.178	2053.7
402	2.035	1981.2	2.027	1978.7	2.019	1976.2	412	2.263	2084.2	2.248	2080.4	2.234	2076.8
404	2.081	2002.3	2.071	1999.6	2.062	1996.9	414	2.328	2109.0	2.312	2104.8	2.296	2100.8
406	2.130	2024.4	2.119	2021.3	2.109	2018.4	416	2.399	2134.7	2.381	2130.1	2.363	2125.7
408	2.184	2047.3	2.172	2043.9	2.160	2040.6	418	2.476	2161.3	2.456	2156.3	2.435	2151.5
410	2.244	2071.3	2.230	2067.5	2.216	2063.9	420	2.560	2188.7	2.537	2183.2	2.514	2178.0
412	2.310	2096.3	2.293	2092.1	2.278	2088.1	422	2.650	2216.7	2.624	2210.9	2.598	2205.3
414	2.382	2122.3	2.363	2117.7	2.345	2113.3	424	2.746	2245.3	2.716	2239.1	2.688	2233.1
416	2.460	2149.4	2.439	2144.3	2.419	2139.4	426	2.847	2274.2	2.815	2267.6	2.784	2261.2
418	2.546	2177.3	2.522	2171.8	2.498	2166.4	428	2.952	2303.1	2.917	2296.2	2.884	2289.6
420	2.638	2206.0	2.611	2200.0	2.585	2194.3	430	3.061	2331.8	3.023	2324.8	2.988	2317.9
422	2.737	2235.4	2.706	2229.0	2.678	2222.8	432	3.171	2360.1	3.132	2352.9	3.094	2345.9
424	2.841	2265.1	2.808	2258.3	2.776	2251.7	434	3.283	2387.7	3.242	2380.5	3.202	2373.4
426	2.951	2295.0	2.915	2287.8	2.880	2280.9	436	3.395	2414.6	3.352	2407.4	3.311	2400.3
428	3.064	2324.6	3.026	2317.3	2.988	2310.1	438	3.506	2440.7	3.462	2433.5	3.420	2426.5
430	3.180	2353.8	3.139	2346.3	3.099	2339.0	440	3.617	2465.9	3.572	2458.9	3.528	2451.9
432	3.297	2382.3	3.254	2374.8	3.212	2367.4	442	3.726	2490.2	3.680	2483.2	3.635	2476.3
434	3.414	2410.0	3.369	2402.5	3.326	2395.0	444	3.832	2513.5	3.733	2506.7	3.740	2499.9
436	3.530	2436.8	3.484	2429.3	3.439	2421.9	446	3.937	2536.0	3.890	2529.3	3.844	2522.7
438	3.645	2462.5	3.598	2455.2	3.552	2447.9	448	4.040	2557.6	3.992	2551.1	3.945	2544.6
440	3.758	2487.4	3.710	2480.2	3.663	2473.0	450	4.140	2578.5	4.092	2572.1	4.045	2565.8
442	3.869	2511.2	3.820	2504.2	3.773	2497.1							
444	3.978	2534.1	3.928	2527.2	3.880	2520.3		p = 38.6 МПа		p = 38.8 МПа		p = 39.0 МПа	
446	4.084	2556.1	4.034	2549.4	3.985	2542.6							
448	4.187	2577.2	4.137	2570.6	4.088	2564.1	350	1.4971	1593.4	1.4960	1593.1	1.4949	1592.8
							352	1.5075	1605.2	1.5063	1604.9	1.5052	1604.5
450	4.289	2597.6	4.238	2591.2	4.189	2584.8	354	1.5182	1617.2	1.5170	1616.8	1.5158	1616.4
							356	1.5293	1629.2	1.5280	1628.8	1.5268	1628.4
	p = 38.0 МПа		p = 38.2 МПа		p = 38.4 МПа		358	1.5408	1641.4	1.5394	1641.0	1.5381	1640.5
350	1.5005	1594.5	1.4993	1594.1	1.4982	1593.8	360	1.5527	1653.7	1.5512	1653.2	1.5498	1652.8
352	1.5110	1606.3	1.5098	1606.0	1.5087	1605.6	362	1.5650	1666.1	1.5635	1665.6	1.5620	1665.2
354	1.5220	1618.3	1.5207	1617.9	1.5195	1617.6	364	1.5777	1678.7	1.5761	1678.2	1.5746	1677.7
356	1.5332	1630.4	1.5319	1630.0	1.5306	1629.6	366	1.5909	1691.5	1.5892	1690.9	1.5876	1690.4
358	1.5449	1642.7	1.5436	1642.2	1.5422	1641.8	368	1.6047	1704.4	1.6029	1703.8	1.6012	1703.2
360	1.5570	1655.1	1.5556	1654.6	1.5541	1654.1	370	1.6190	1717.5	1.6171	1716.9	1.6152	1716.3
362	1.5695	1667.6	1.5680	1667.1	1.5665	1666.6	372	1.6339	1730.8	1.6319	1730.1	1.6299	1729.5
364	1.5825	1680.3	1.5809	1679.8	1.5793	1679.2	374	1.6494	1744.3	1.6473	1743.6	1.6452	1742.9
366	1.5960	1693.1	1.5943	1692.6	1.5926	1692.0	376	1.6657	1758.0	1.6634	1757.3	1.6612	1756.6
368	1.6101	1706.2	1.6083	1705.6	1.6065	1705.0	378	1.6828	1772.0	1.6803	1771.2	1.6779	1770.4

Продолжение таблицы XXVII

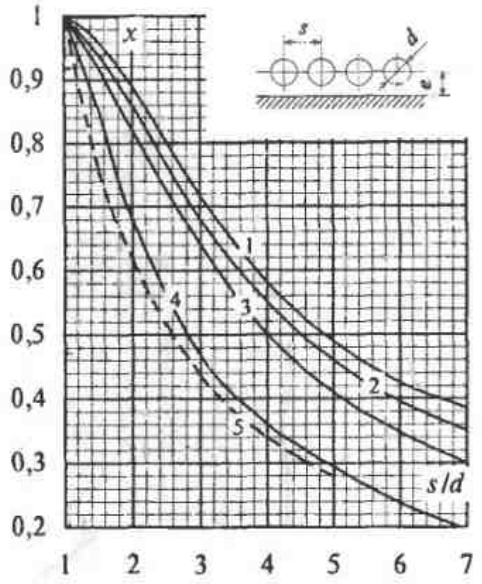
t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 38.6 МПа		p = 38.8 МПа		p = 39.0 МПа			p = 39.2 МПа		p = 39.4 МПа		p = 39.6 МПа	
380	1.7006	1786.2	1.6980	1785.3	1.6955	1784.5	364	1.5730	1677.2	1.5715	1676.7	1.5699	1676.2
382	1.7195	1800.6	1.7167	1799.7	1.7139	1798.8	366	1.5860	1689.9	1.5843	1689.3	1.5827	1688.8
384	1.7393	1815.4	1.7363	1814.4	1.7333	1813.4	368	1.5994	1702.7	1.5977	1702.1	1.5960	1701.6
386	1.7603	1830.5	1.7570	1829.4	1.7538	1828.4	370	1.6134	1715.7	1.6116	1715.1	1.6098	1714.5
388	1.7826	1846.0	1.7790	1844.8	1.7755	1843.7	372	1.6280	1728.8	1.6260	1728.2	1.6241	1727.6
390	1.7948	1858.2	1.7911	1857.0	1.7875	1855.8	374	1.6431	1742.2	1.6411	1741.5	1.6390	1740.9
392	1.8190	1874.1	1.8149	1872.8	1.8110	1871.6	376	1.6590	1755.8	1.6568	1755.1	1.6546	1754.4
394	1.8584	1894.9	1.8538	1893.4	1.8492	1892.0	378	1.6756	1769.6	1.6732	1768.8	1.6709	1768.1
396	1.8874	1912.1	1.8822	1910.5	1.8771	1908.9	380	1.6929	1783.6	1.6904	1782.8	1.6880	1782.0
398	1.9184	1929.9	1.9127	1928.1	1.9017	1926.4	382	1.7112	1797.9	1.7085	1797.0	1.7058	1796.2
400	1.9519	1948.3	1.9456	1946.4	1.9394	1944.5	384	1.7304	1812.5	1.7275	1811.6	1.7246	1810.6
402	1.9881	1967.3	1.9810	1965.2	1.9741	1963.1	386	1.7507	1827.4	1.7475	1826.4	1.7445	1825.4
404	2.027	1987.0	2.019	1984.6	2.012	1982.4	388	1.7721	1842.6	1.7687	1841.5	1.7654	1840.4
406	2.070	2007.4	2.061	2004.8	2.052	2002.3	390	1.7948	1858.2	1.7911	1857.0	1.7875	1855.8
408	2.116	2028.5	2.106	2025.7	2.096	2023.0	392	1.8190	1874.1	1.8149	1872.8	1.8110	1871.6
410	2.166	2050.5	2.155	2047.4	2.144	2044.4	394	1.8447	1890.5	1.8403	1889.1	1.8360	1887.8
412	2.221	2073.3	2.208	2069.8	2.196	2066.5	396	1.8722	1907.4	1.8674	1905.9	1.8626	1904.4
414	2.281	2096.9	2.266	2093.2	2.252	2089.5	398	1.9017	1924.7	1.8963	1923.1	1.8911	1921.5
416	2.346	2121.4	2.329	2117.3	2.314	2113.3	400	1.9333	1942.6	1.9274	1940.8	1.9217	1939.1
418	2.416	2146.8	2.398	2142.3	2.380	2137.9	402	1.9674	1961.1	1.9609	1959.1	1.9545	1957.2
420	2.492	2173.0	2.472	2168.1	2.452	2163.3	404	2.004	1980.1	1.9969	1978.0	1.9898	1975.9
422	2.574	2199.8	2.551	2194.5	2.529	2189.4	406	2.044	1999.9	2.036	1997.5	2.028	1995.2
424	2.662	2227.2	2.636	2221.6	2.611	2216.1	408	2.087	2020.3	2.078	2017.7	2.069	2015.2
426	2.754	2255.0	2.726	2249.0	2.699	2243.2	410	2.134	2041.4	2.123	2038.6	2.113	2035.8
428	2.852	2283.1	2.821	2276.8	2.791	2270.6	412	2.184	2063.3	2.172	2060.2	2.161	2057.2
430	2.953	2311.2	2.920	2304.6	2.887	2298.2	414	2.239	2086.0	2.226	2082.6	2.213	2079.2
432	3.057	2339.0	3.022	2332.2	2.987	2325.6	416	2.298	2109.4	2.284	2105.7	2.270	2102.1
434	3.163	2366.4	3.126	2359.6	3.089	2352.8	418	2.363	2133.7	2.346	2129.6	2.331	2125.6
436	3.270	2393.3	3.231	2386.4	3.193	2379.6	420	2.432	2158.7	2.414	2154.3	2.396	2150.0
438	3.378	2419.5	3.337	2412.6	3.297	2405.7	422	2.507	2184.4	2.487	2179.6	2.467	2175.0
440	3.485	2444.9	3.443	2438.1	3.402	2431.3	424	2.587	2210.7	2.565	2205.6	2.543	2200.6
442	3.591	2469.5	3.548	2462.7	3.506	2456.0	426	2.672	2237.5	2.647	2232.0	2.623	2226.7
444	3.696	2493.2	3.652	2486.5	3.609	2479.9	428	2.762	2264.6	2.735	2258.8	2.708	2253.2
446	3.798	2516.1	3.754	2509.6	3.710	2503.0	430	2.856	2291.9	2.826	2285.8	2.798	2279.9
448	3.900	2538.2	3.855	2531.8	3.810	2525.4	432	2.954	2319.2	2.922	2312.9	2.891	2306.7
450	3.999	2559.5	3.953	2553.2	3.909	2546.9	434	3.054	2346.2	3.020	2339.8	2.987	2333.4
							436	3.156	2372.9	3.120	2366.3	3.085	2359.8
	p = 39.2 МПа		p = 39.4 МПа		p = 39.6 МПа		438	3.259	2399.0	3.221	2392.4	3.185	2385.8
350	1.4938	1592.4	1.4927	1592.1	1.4916	1591.8	440	3.362	2424.6	3.323	2417.9	3.285	2411.4
352	1.5040	1604.2	1.5029	1603.8	1.5017	1603.5	442	3.465	2449.3	3.425	2442.7	3.386	2436.2
354	1.5146	1616.0	1.5134	1615.7	1.5122	1615.3	444	3.567	2473.3	3.526	2466.8	3.486	2460.3
356	1.5255	1628.0	1.5242	1627.6	1.5230	1627.2	446	3.668	2496.5	3.626	2490.1	3.585	2483.7
358	1.5368	1640.1	1.5355	1639.7	1.5341	1639.3	448	3.767	2519.0	3.724	2512.7	3.682	2506.4
360	1.5484	1652.3	1.5470	1651.9	1.5457	1651.5	450	3.865	2540.7	3.821	2534.5	3.779	2528.3
362	1.5605	1664.7	1.5590	1664.2	1.5576	1663.8							

Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 39.8 МПа		p = 40.0 МПа			p = 39.8 МПа		p = 40.0 МПа	
350	1.4905	1591.5	1.4894	1591.2	360	1.5443	1651.0	1.5430	1650.6
352	1.5006	1603.2	1.4995	1602.8	362	1.5562	1663.3	1.5547	1662.9
354	1.5110	1614.9	1.5098	1614.6	364	1.5684	1675.7	1.5669	1675.3
356	1.5218	1626.8	1.5205	1626.5	366	1.5811	1688.3	1.5795	1687.8
358	1.5328	1638.9	1.5316	1638.5	368	1.5943	1701.0	1.5926	1700.5

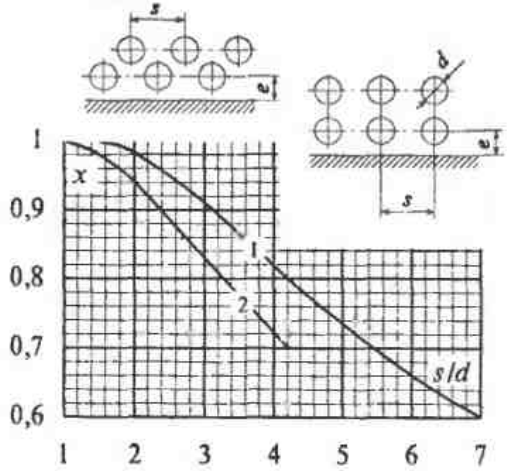
Продолжение таблицы XXVII

t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг	t °C	υ м³/кг	i кДж/кг	υ м³/кг	i кДж/кг
	p = 39.8 МПа		p = 40.0 МПа			p = 39.8 МПа		p = 40.0 МПа	
370	1.6080	1713.9	1.6062	1713.3	410	2.104	2033.1	2.094	2030.5
372	1.6222	1727.0	1.6204	1726.4	412	2.151	2054.2	2.140	2051.3
374	1.6370	1740.2	1.6351	1739.6	414	2.201	2076.0	2.190	2072.9
376	1.6525	1753.7	1.6504	1753.0	416	2.256	2098.5	2.243	2095.1
378	1.6686	1767.3	1.6664	1766.6	418	2.316	2121.8	2.301	2118.1
380	1.6855	1781.2	1.6831	1780.4	420	2.379	2145.8	2.363	2141.7
382	1.7032	1795.3	1.7007	1794.5	422	2.448	2170.4	2.430	2166.0
384	1.7218	1809.7	1.7191	1808.8	424	2.522	2195.7	2.501	2191.0
386	1.7414	1824.4	1.7384	1823.4	426	2.600	2221.5	2.578	2216.4
388	1.7621	1839.4	1.7589	1838.3	428	2.683	2247.7	2.658	2242.3
390	1.7840	1854.7	1.7805	1853.6	430	2.770	2274.1	2.743	2268.5
392	1.8071	1870.4	1.8033	1869.1	432	2.861	2300.7	2.832	2294.8
394	1.8318	1886.4	1.8276	1885.1	434	2.955	2327.2	2.924	2321.1
396	1.8580	1902.9	1.8535	1901.5	436	3.051	2353.5	3.018	2347.3
398	1.8860	1919.9	1.8811	1918.3	438	3.149	2379.4	3.115	2373.1
400	1.9161	1937.3	1.9106	1935.6	440	3.248	2404.9	3.212	2398.6
402	1.9483	1955.3	1.9422	1953.5	442	3.347	2429.8	3.310	2423.4
404	1.9829	1973.8	1.9762	1971.8	444	3.446	2453.9	3.408	2447.6
406	2.020	1993.0	2.013	1990.8	446	3.544	2477.4	3.505	2471.1
408	2.060	2012.7	2.052	2010.3	448	3.642	2500.1	3.602	2493.9
					450	3.737	2522.1	3.697	2516.0

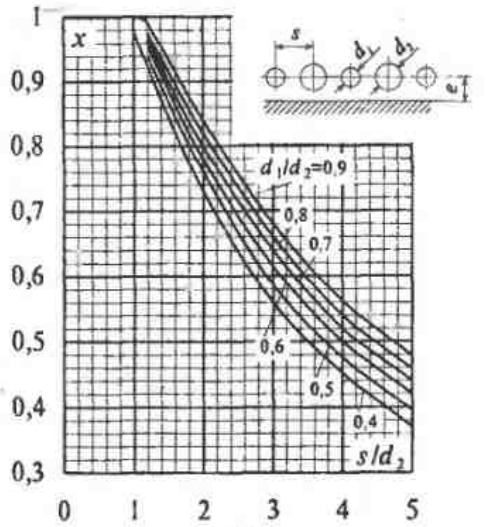


а)

а-однорядного гладкотрубного экрана:
1- с учетом излучения обмуровки при $e \geq 1{,}4d$;
2- то же при $e = 0{,}8d$; 3- то же при $e = 0{,}5d$;
4- то же при $e = 0$; 5- без учета излучения обмуровки при $e \geq 0{,}5d$;

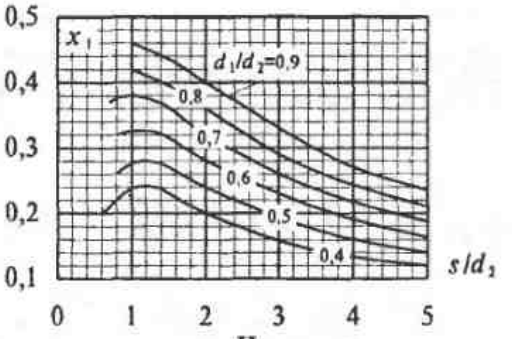


б)



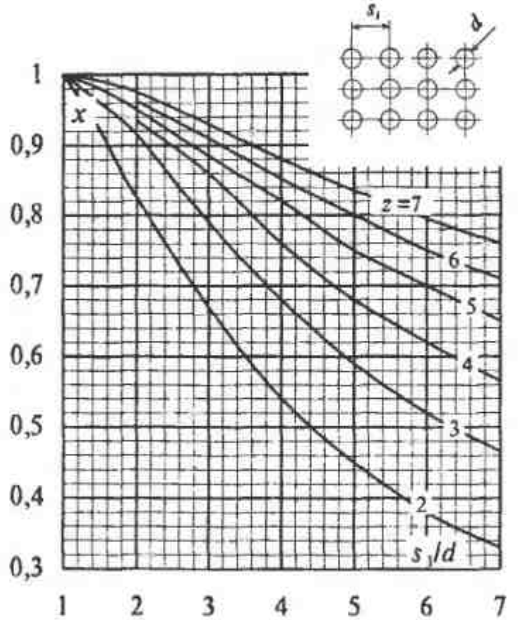
I

б-двурядного гладкотрубного экрана:
1- с учетом излучения обмуровки при $e \geq 1{,}4d$;
2- то же при $e = 0$;
в- однорядного экрана из гладких труб разных диаметров: I - для всего экрана; II - для труб малого диаметра;
г - z-рядного пучка: z=2,3,4.5,6,7 - количество рядов в пучке.

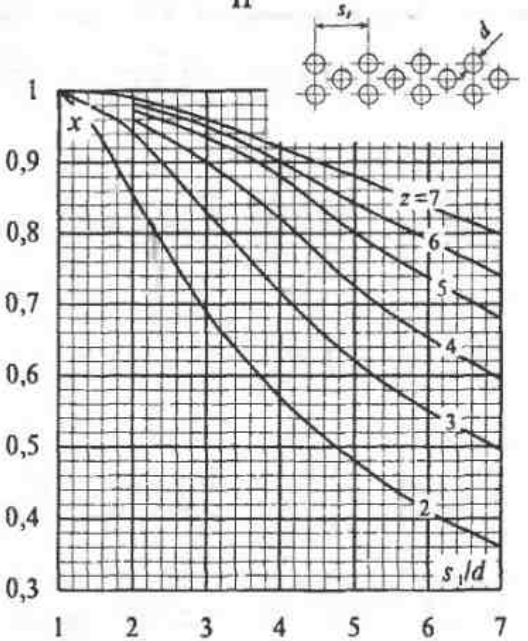


II

в)



коридорный пучок

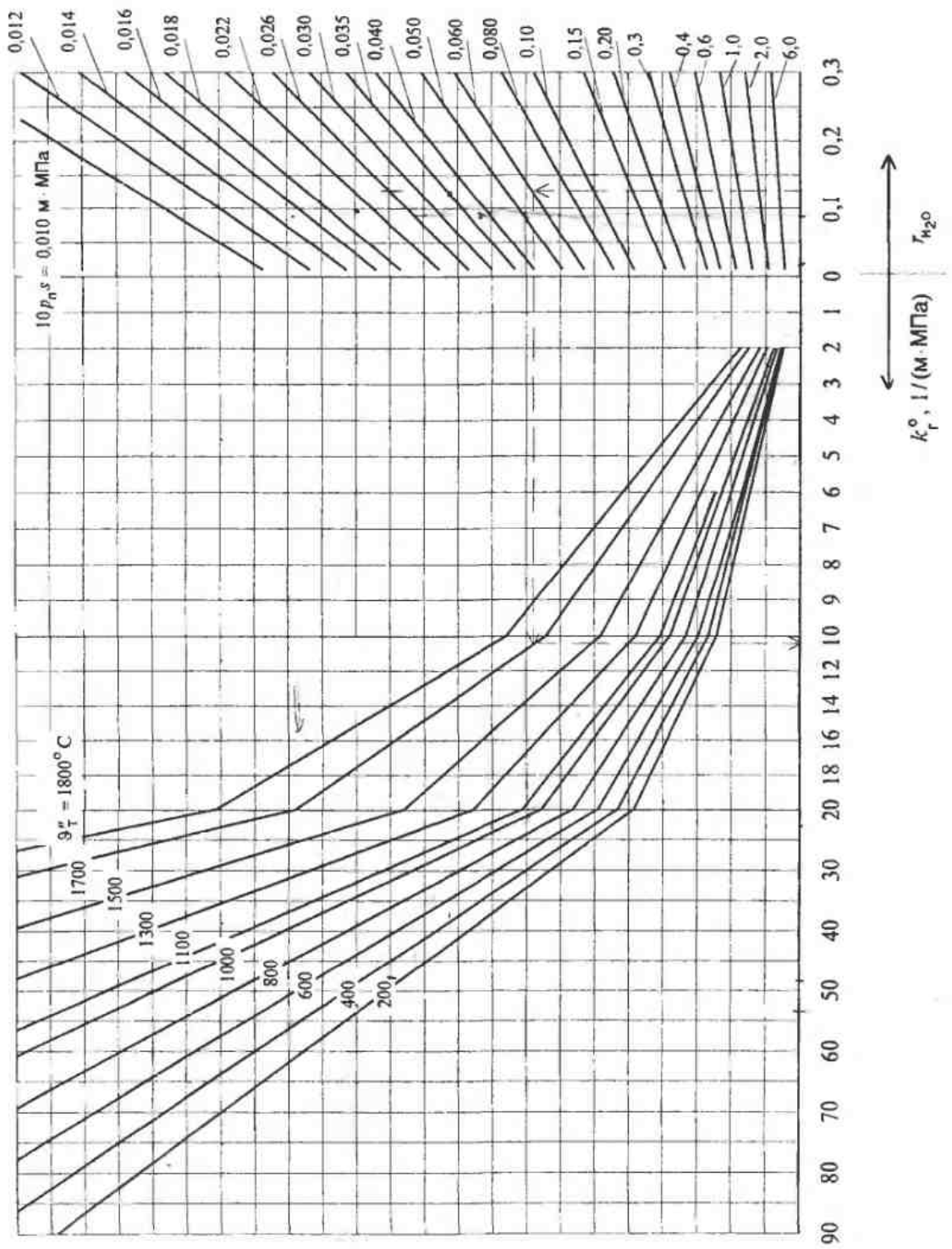


шахматный пучок

г)

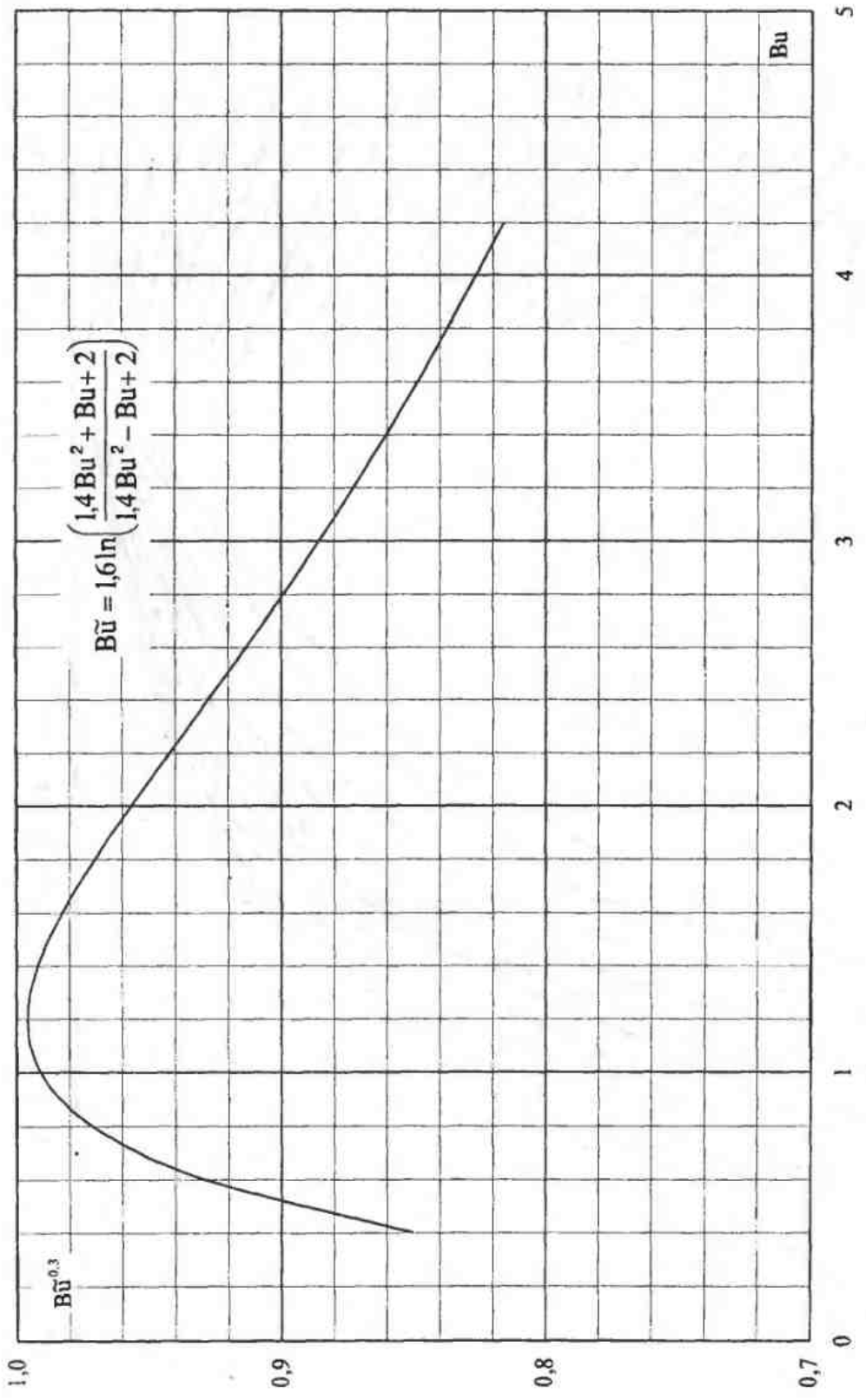
КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛУЧЕЙ ГАЗОВОЙ ФАЗОЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Номограмма 2



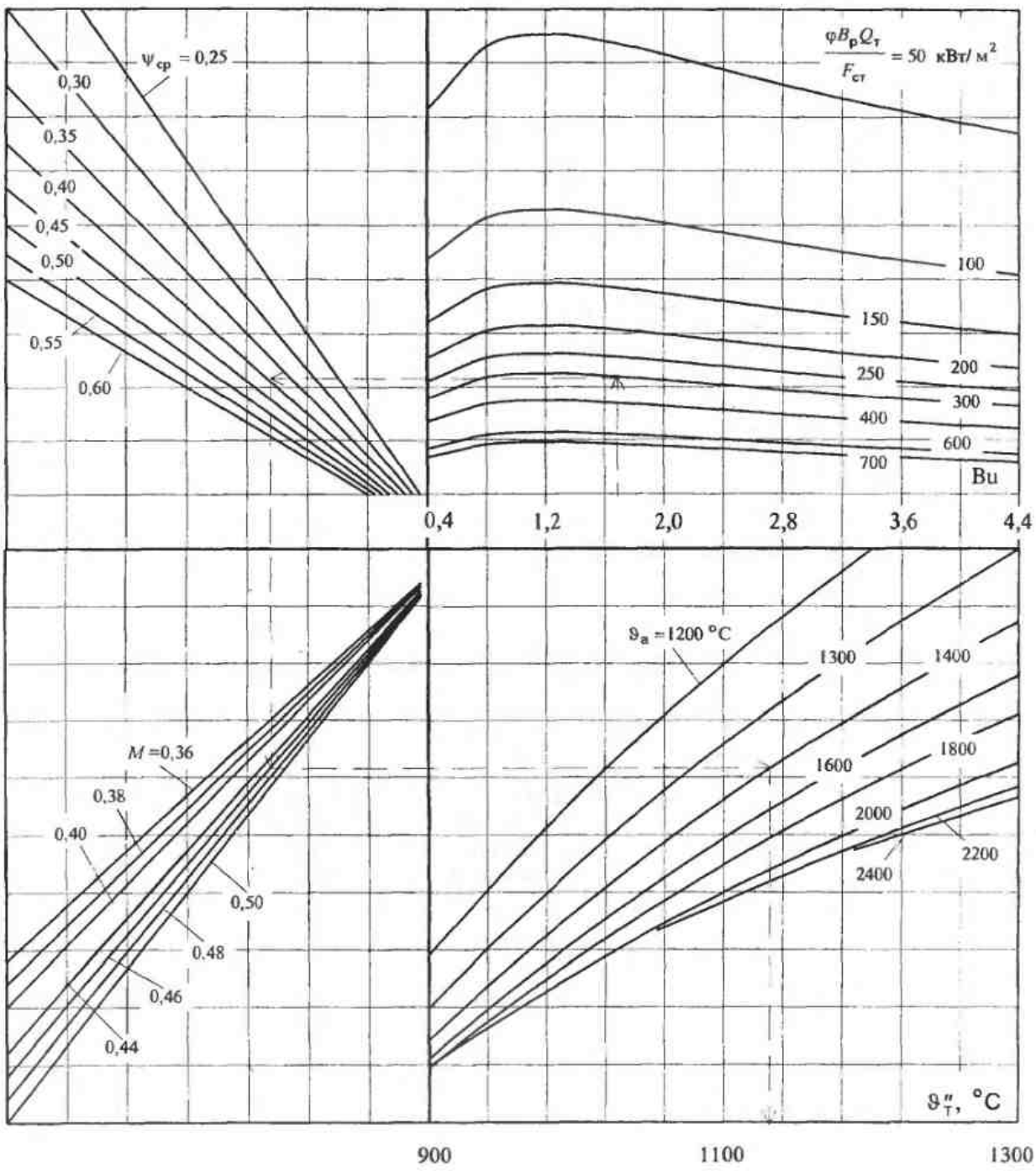
ЭФФЕКТИВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ КРИТЕРИЯ БУГЕРА

Номограмма 3



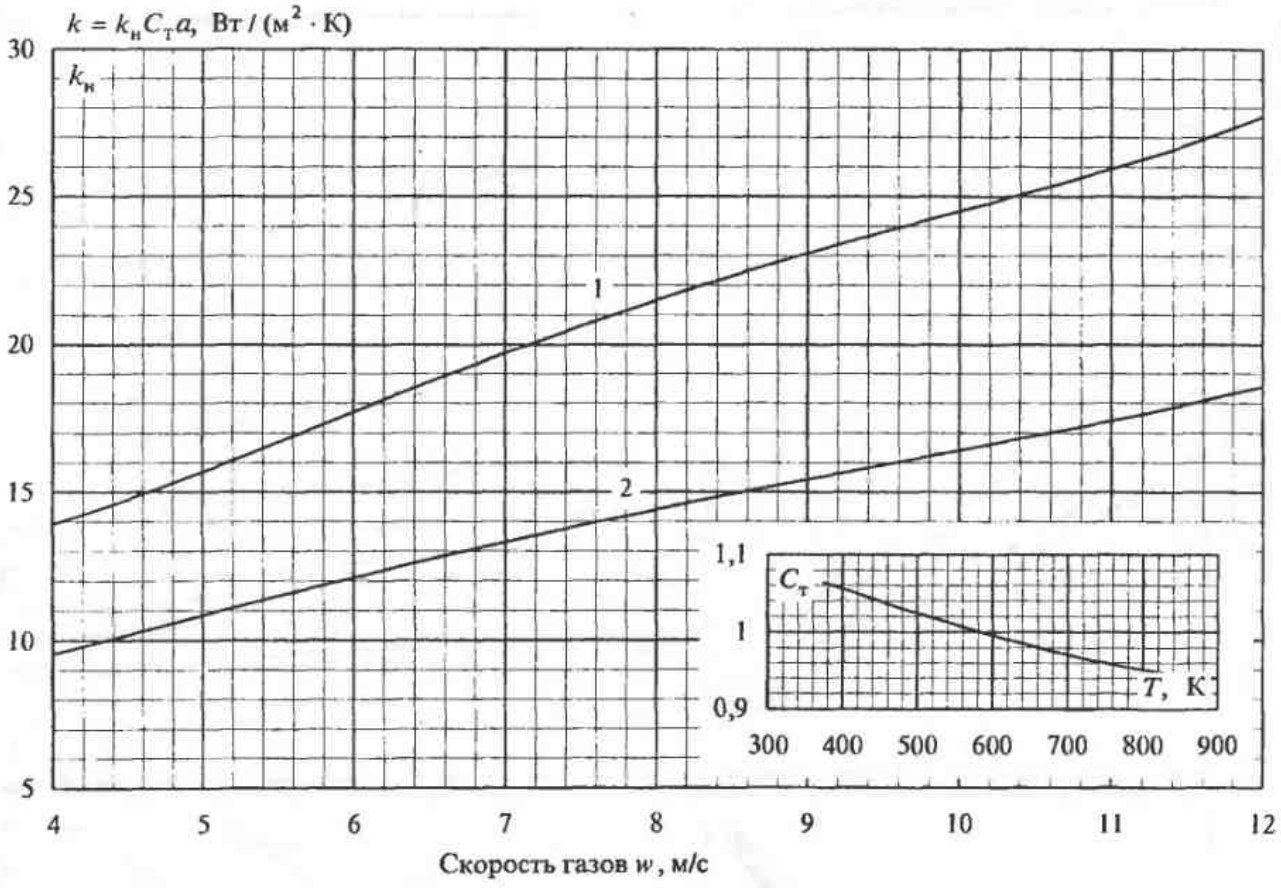
ТЕМПЕРАТУРА ГАЗОВ НА ВЫХОДЕ ИЗ ТОПКИ

Номограмма 4



КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧУГУННЫХ РЕБРИСТЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ

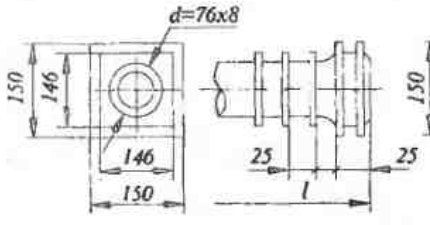
Номограмма 5



1 - экономайзер ВТИ и экономайзер из труб с дополнительным продольным оребрением
2 - экономайзер ЦККБ

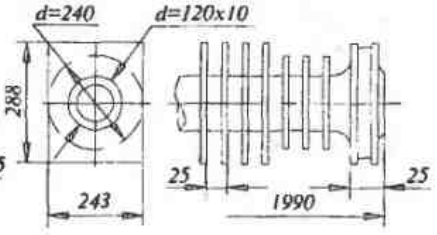
Топливо	Очистка	Коэффициент a
Мазут	Паровые обдувочные аппараты	0,25
	Газоимпульсная очистка (ГИО)	0,2
Твердое топливо в слое	Паровые обдувочные аппараты	0,1
	Газоимпульсная очистка (ГИО)	0,05

Труба ВТИ



Труба с дополнительным продольным оребрением

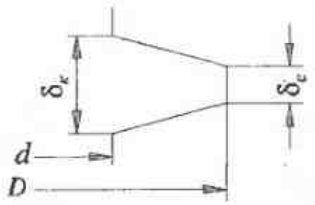
Труби ЦККБ

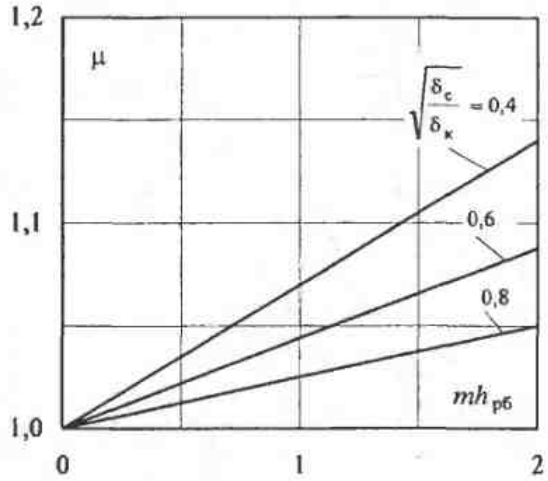


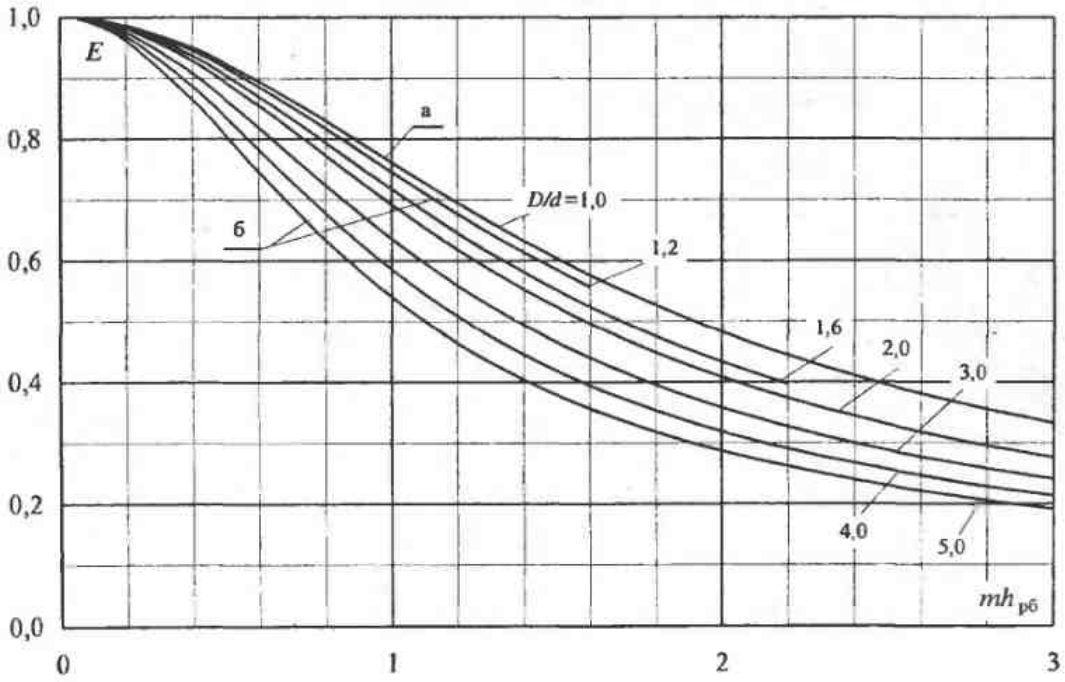
Характеристика одной трубы	Разм.	Труба ВТИ				Труба с дополнительными продольными ребрами		Труба ЦККБ
Длина	мм	1500	2000	2500	3000	2000	3000	1990
Поверхность нагрева с газовой стороны	м²	2,18	2,95	3,72	4,49	3,14	4,78	5,5
Живое сечение для прохода газов	м²	0,088	0,120	0,152	0,184	0,120	0,184	0,21

КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕБЕР

Номограмма 6

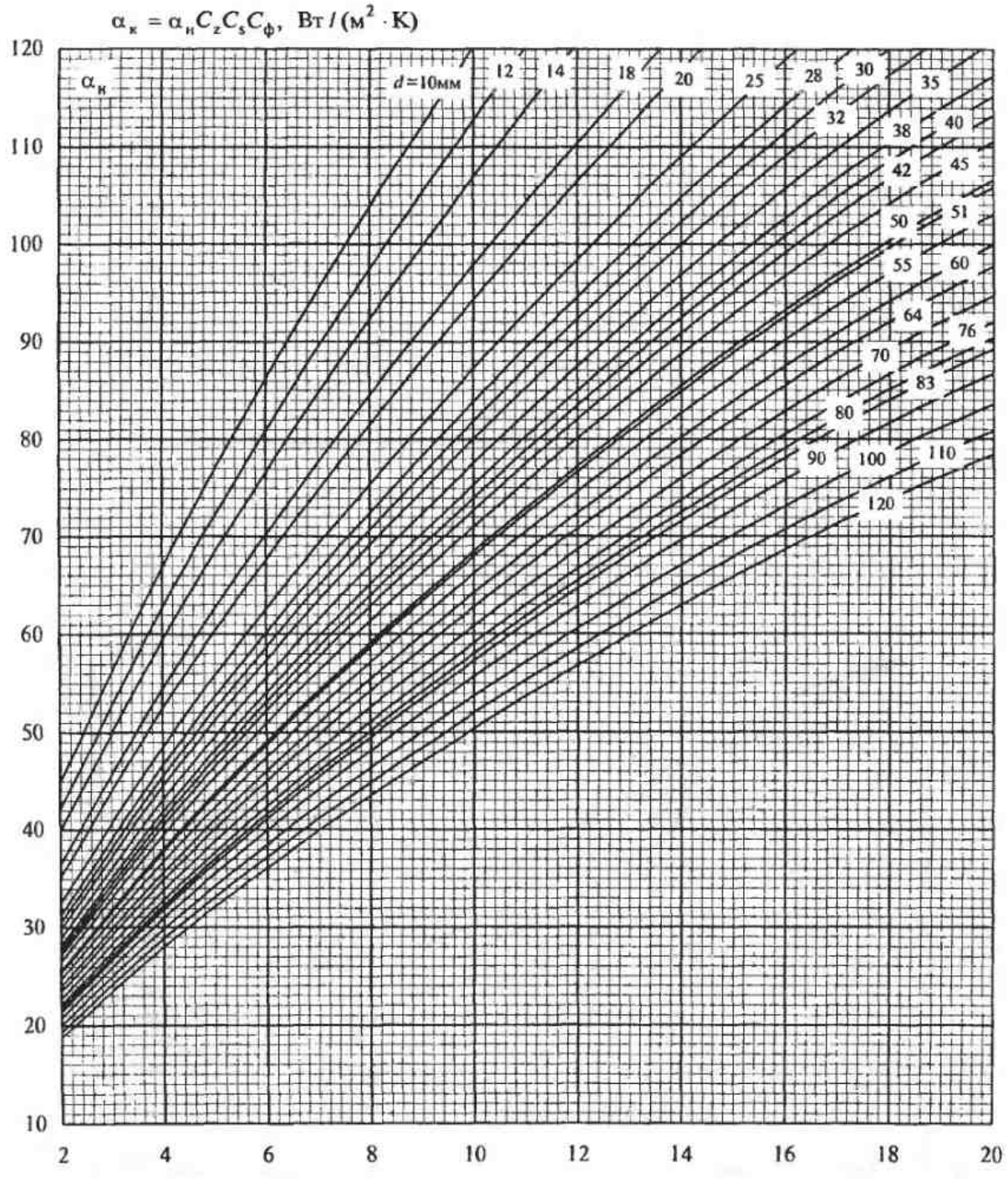




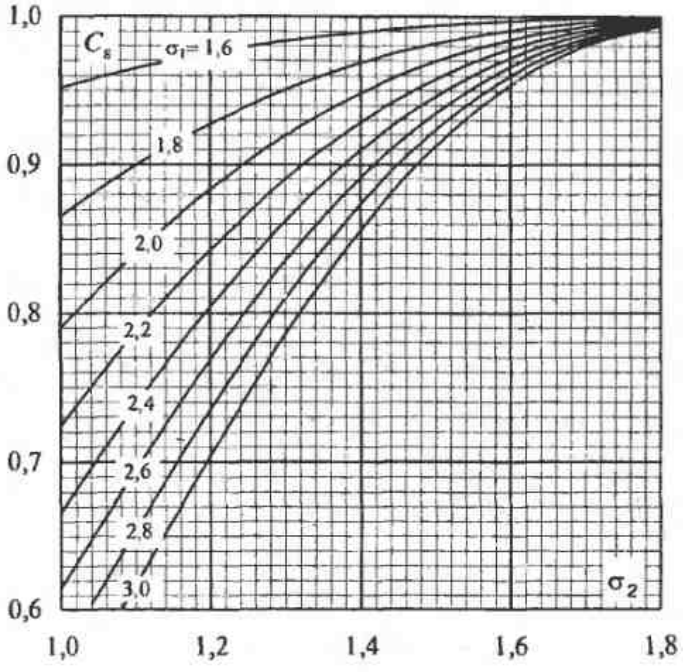


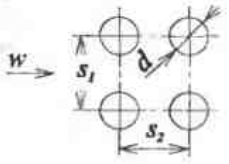
а- ребра с прямым основанием; б - круглые ребра с цилиндрическим основанием.
Для цилиндрических стержней из проволоки (проволочно-оребренные калориферы) E принимается по кривой для ребер с прямым основанием (D/d=1,0).

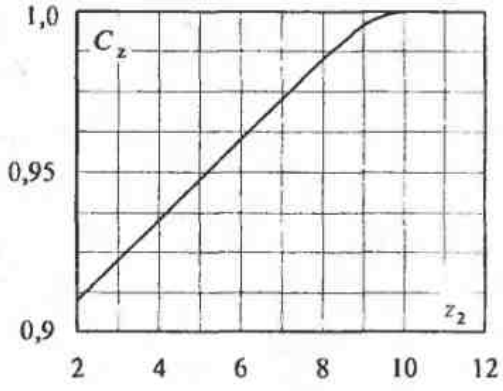
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ

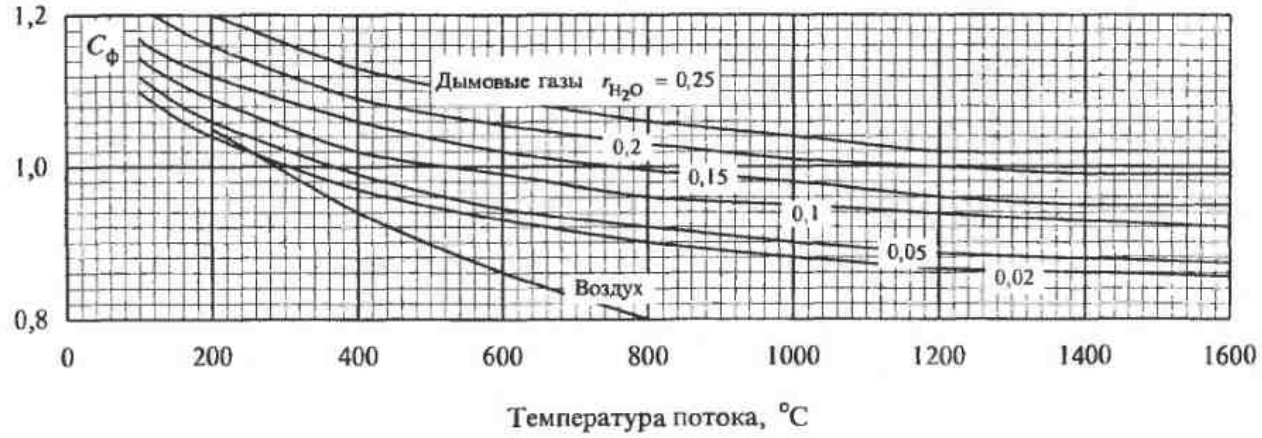


ОМЫВАНИИ КОРИДОРНЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ И ШИРМ | Номограмма 7



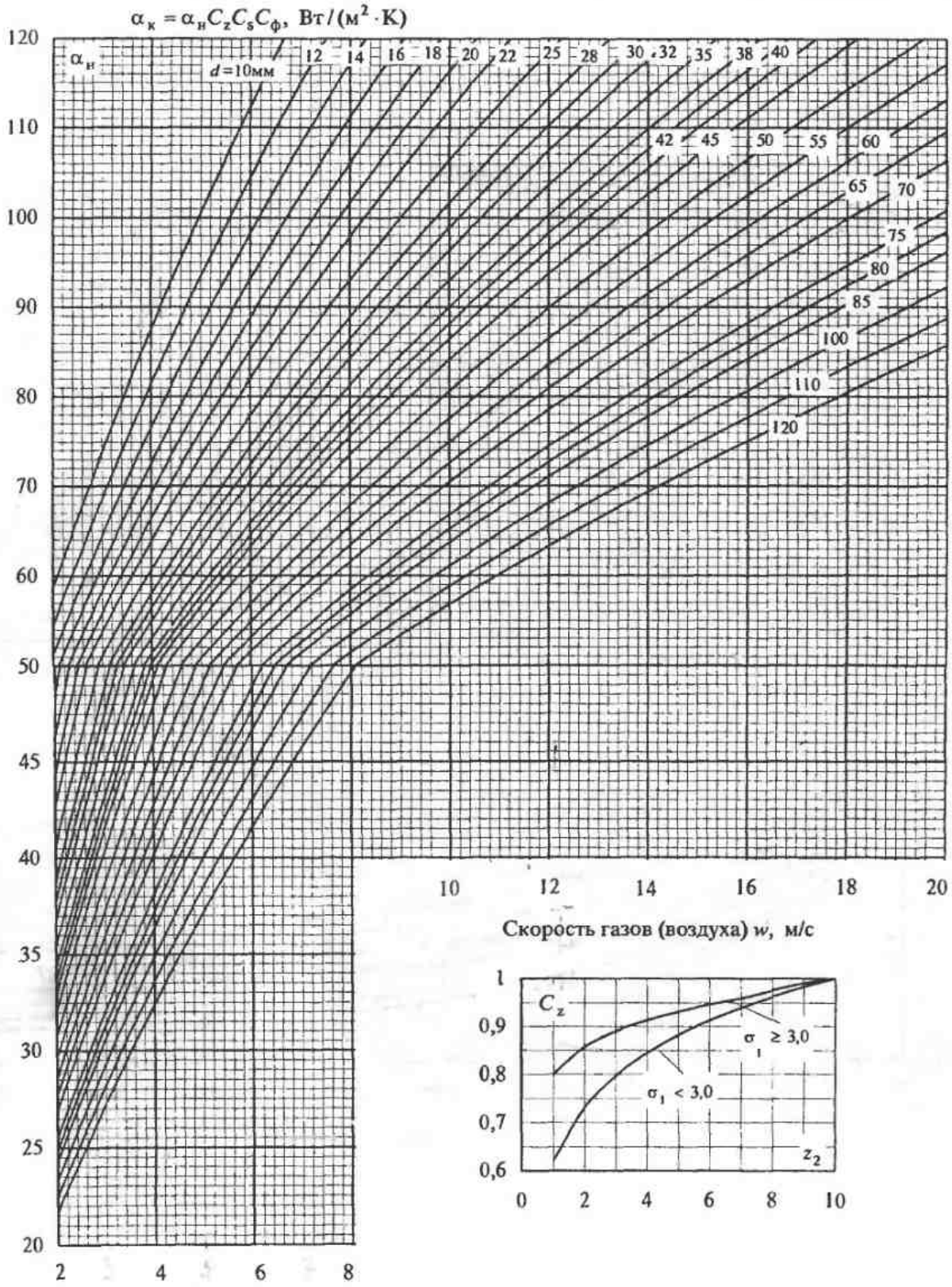






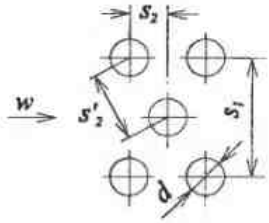
Температура потока, °С

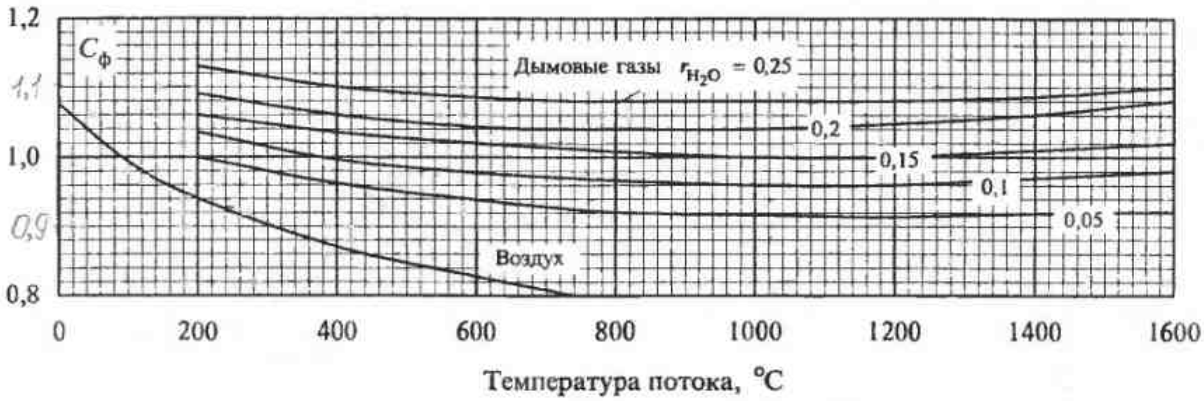
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ

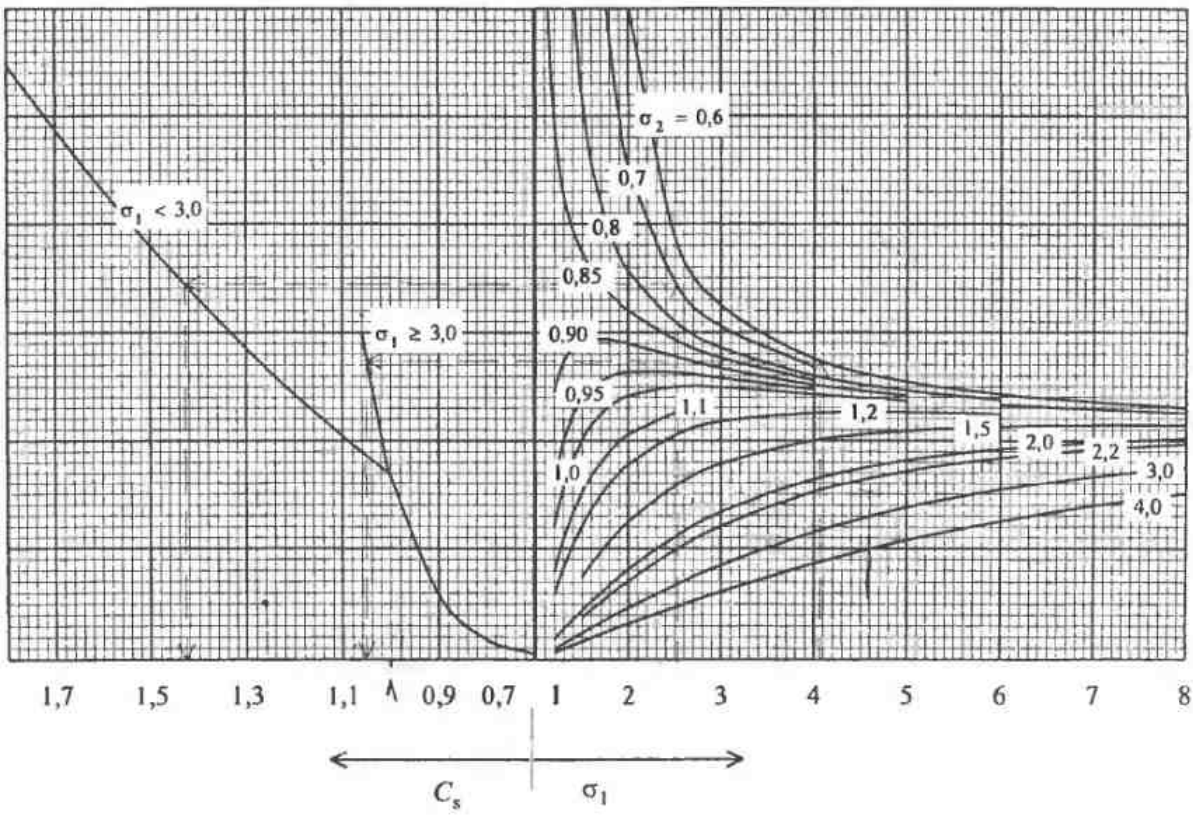


ОМЫВАНИИ ШАХМАТНЫХ ГЛАДКОТРУБНЫХ ПУЧКОВ

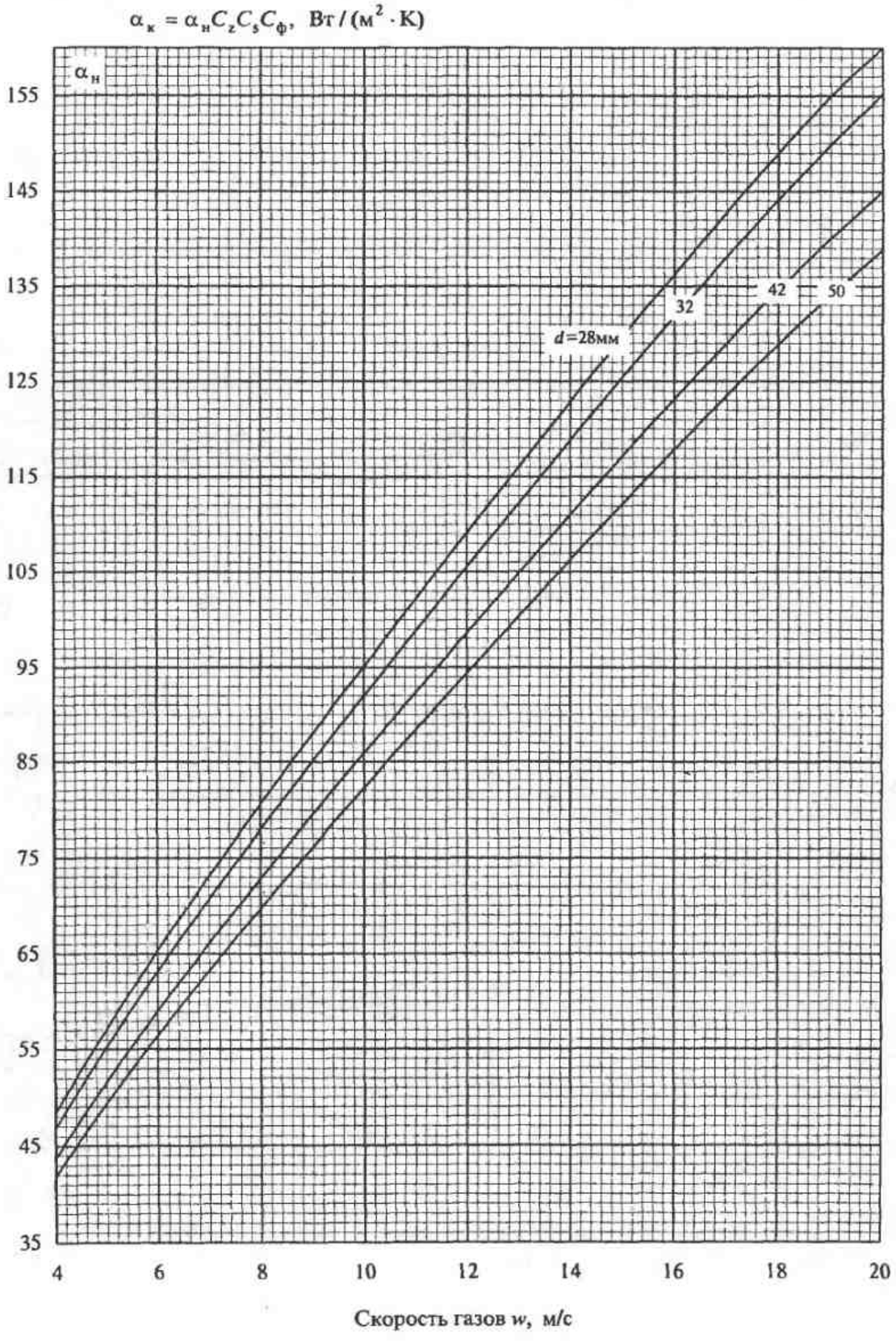
Номограмма 8





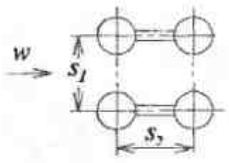


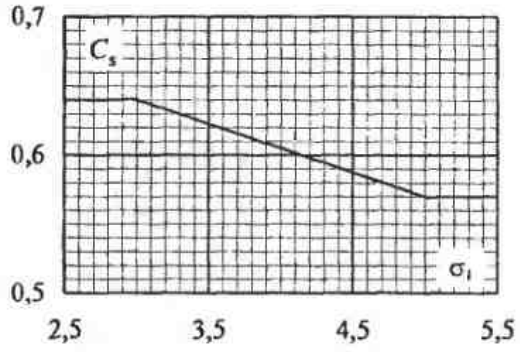
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ И ПЛАВНИКОВЫХ КОРИДОРНЫХ

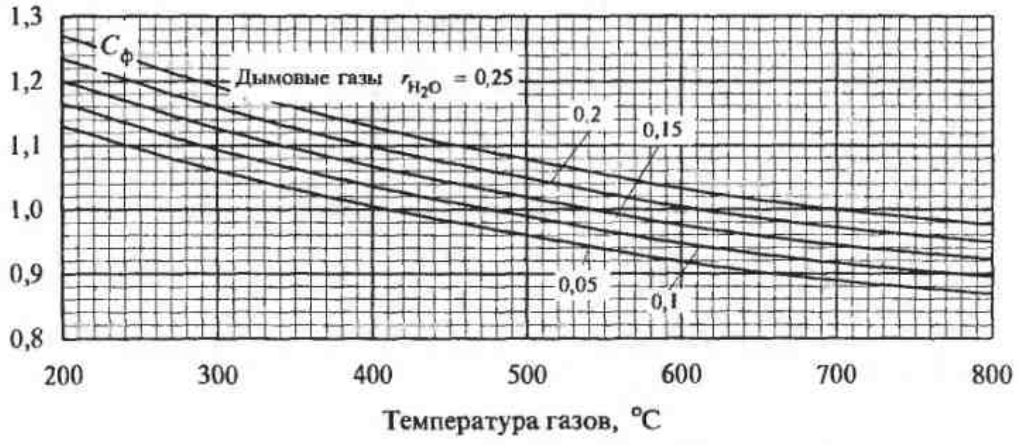


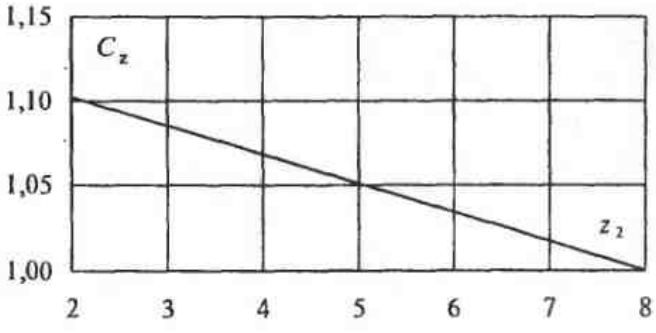
ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОМЫВАНИИ МЕМБРАННЫХ ПУЧКОВ И ШИРМ

Номограмма 9

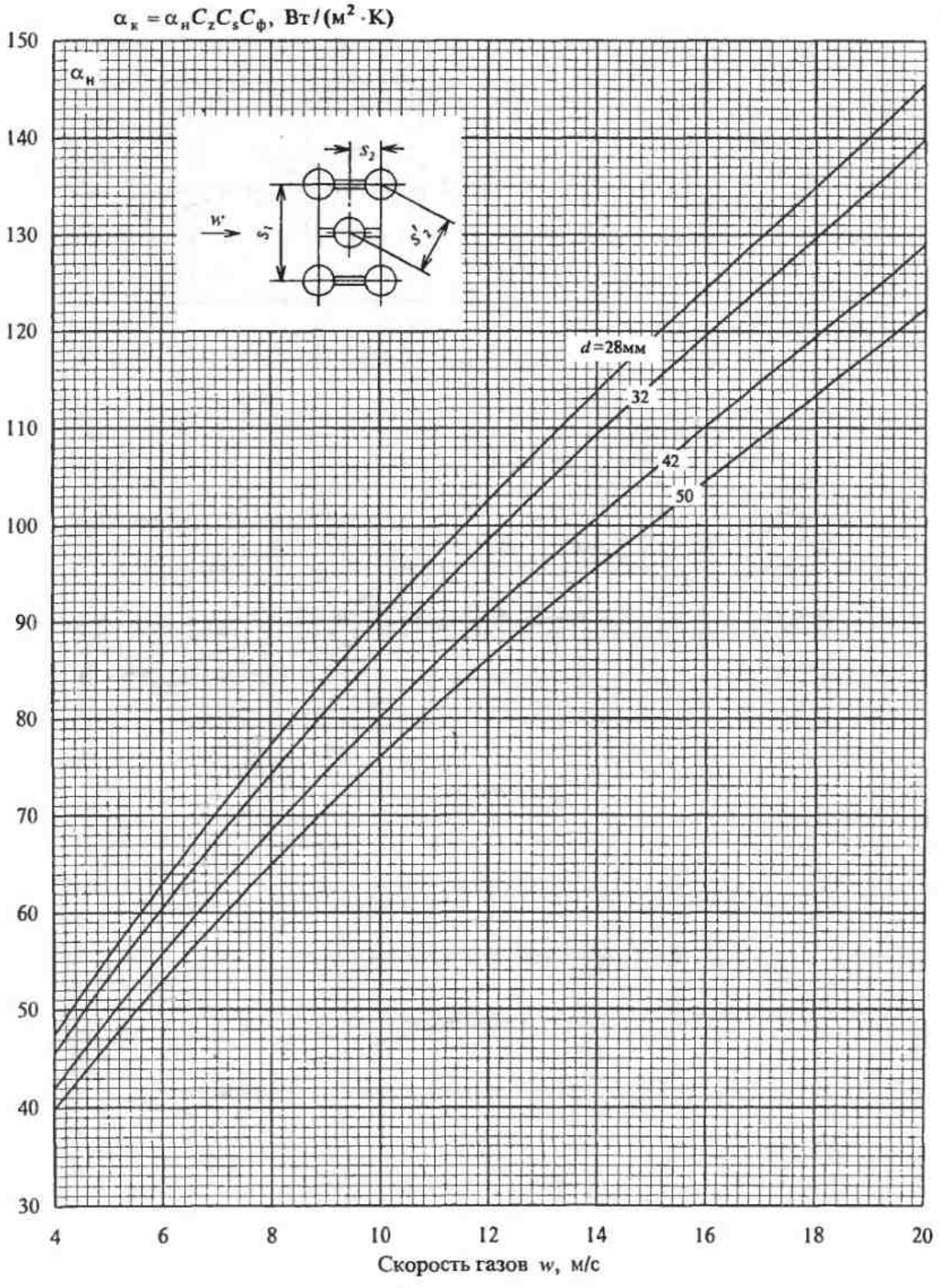






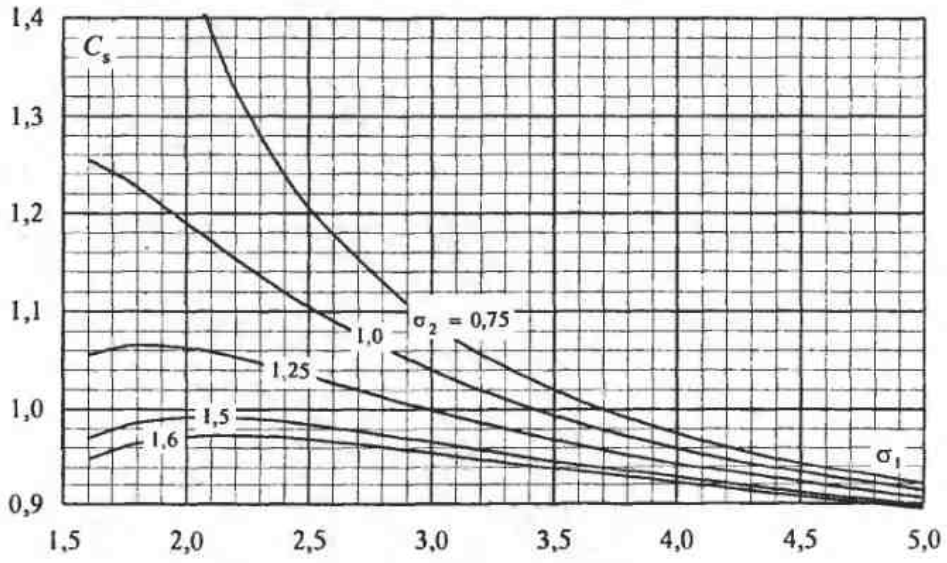


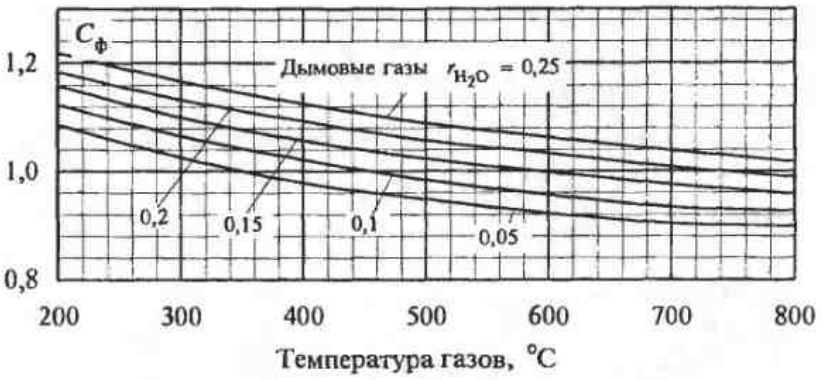
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОМЫВАНИИ

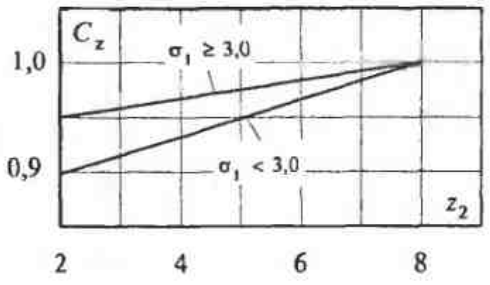


МЕМБРАННЫХ И ПЛАВНИКОВЫХ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ

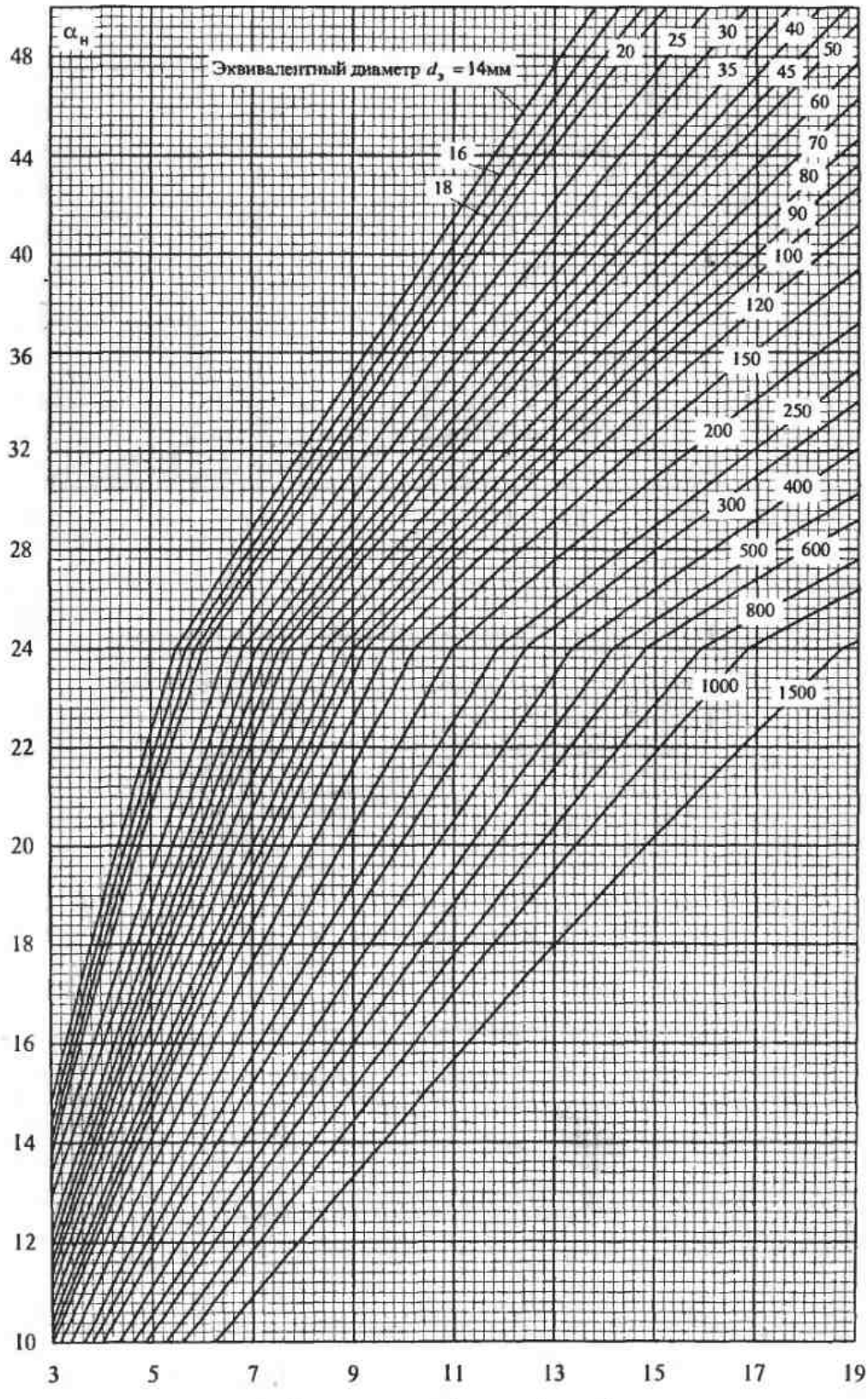
Номограмма 10





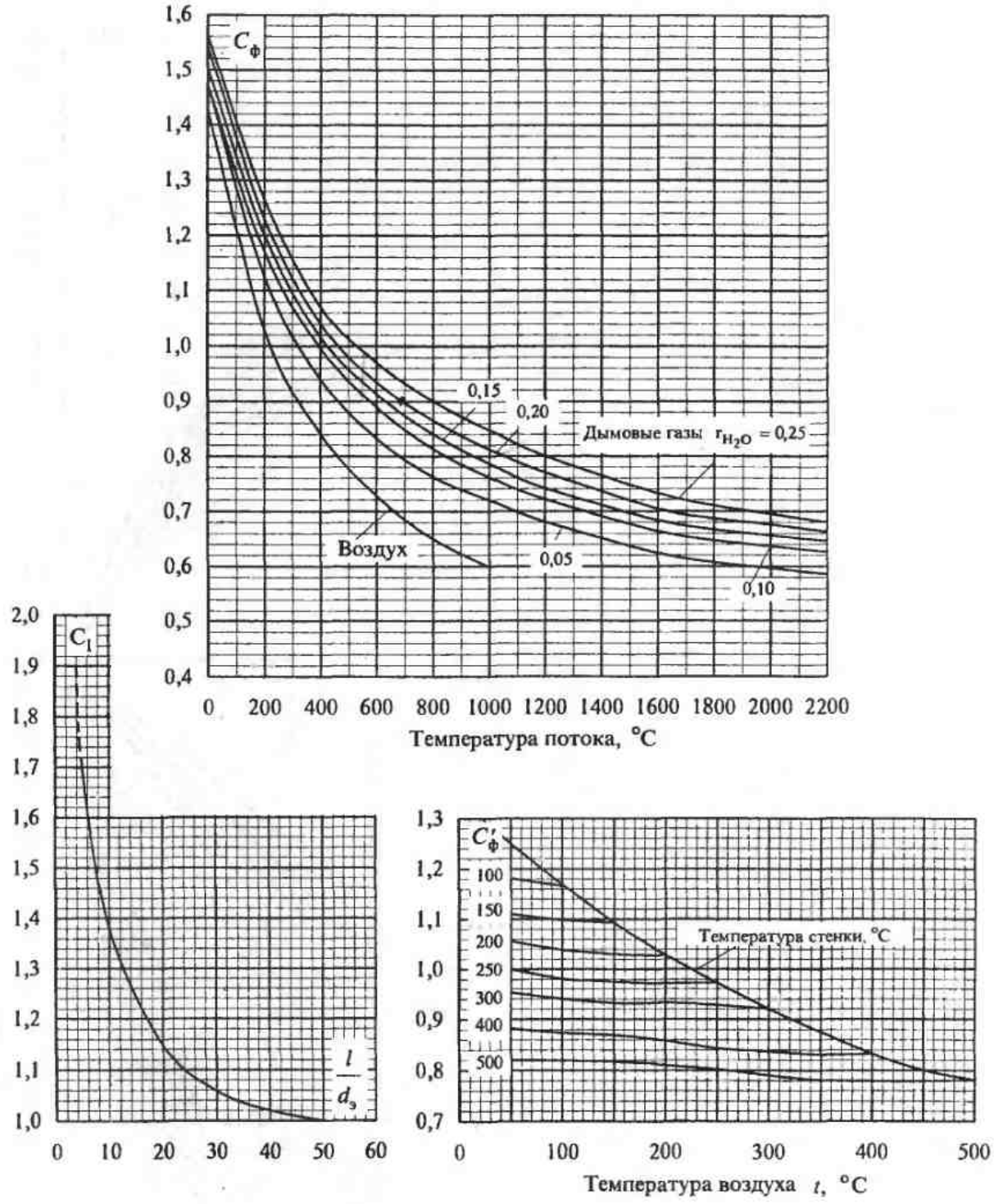


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ



ОМЫВАНИИ ДЛЯ ВОЗДУХА И ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Номограмма 11



При охлаждении дымовых газов и воздуха

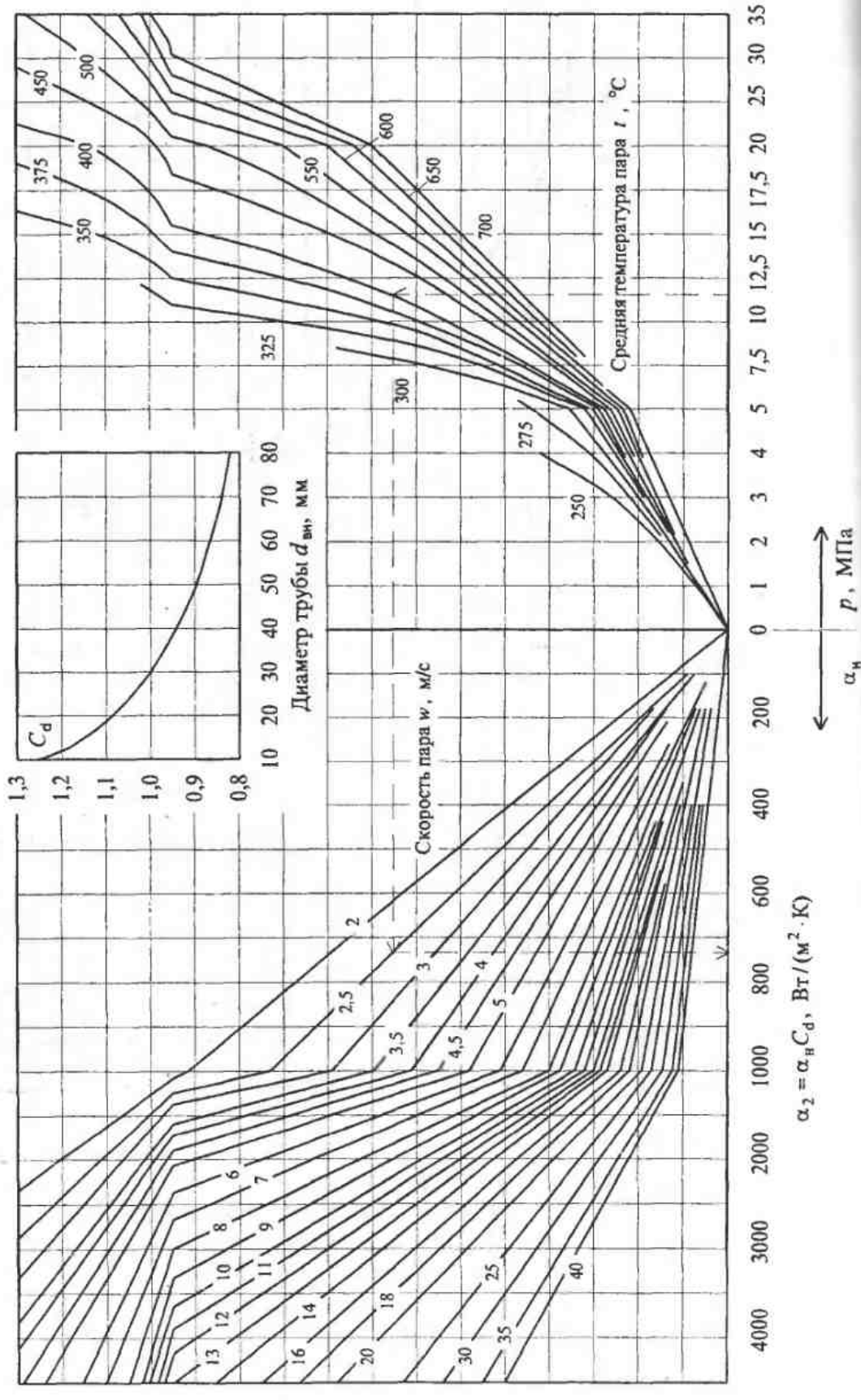
$$\alpha_к = \alpha_н C_ф C_l, \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$$

При нагревании воздуха

$$\alpha_к = \alpha_н C'_ф C_l, \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$$

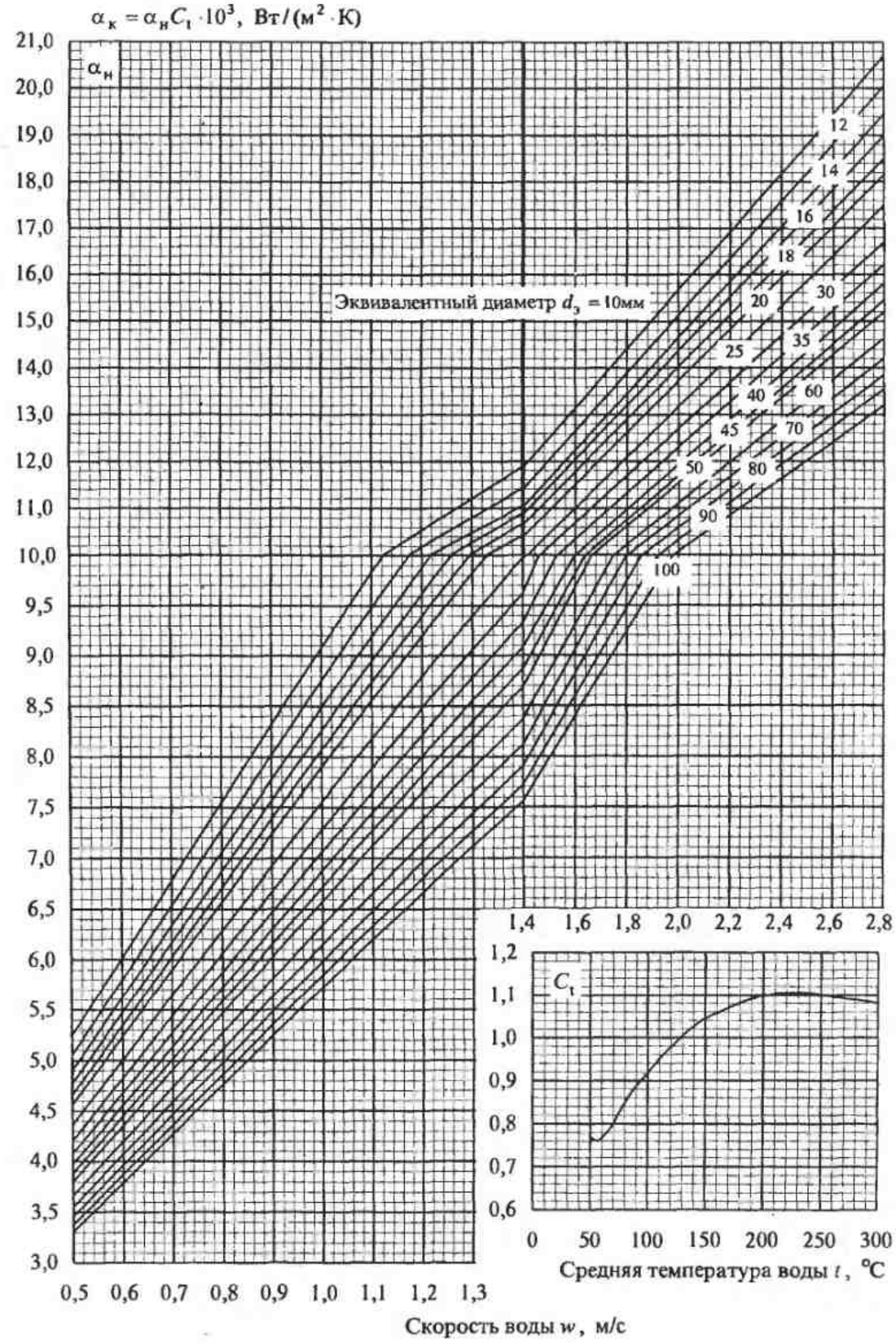
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ОМЫВАНИИ ДЛЯ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

Номограмма 12

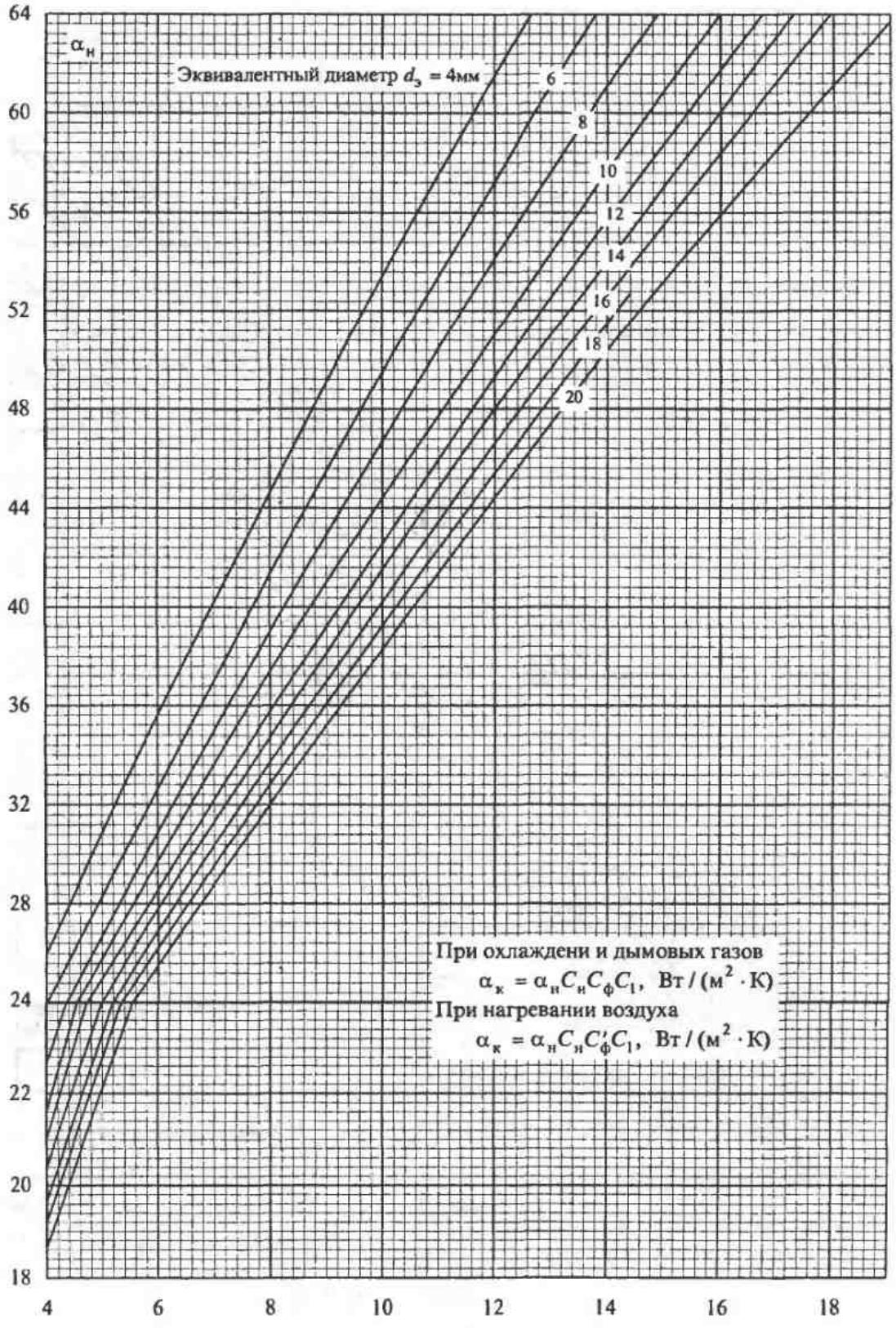


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ОМЫВАНИИ ДЛЯ НЕКИПЯЩЕЙ ВОДЫ

Номограмма 13

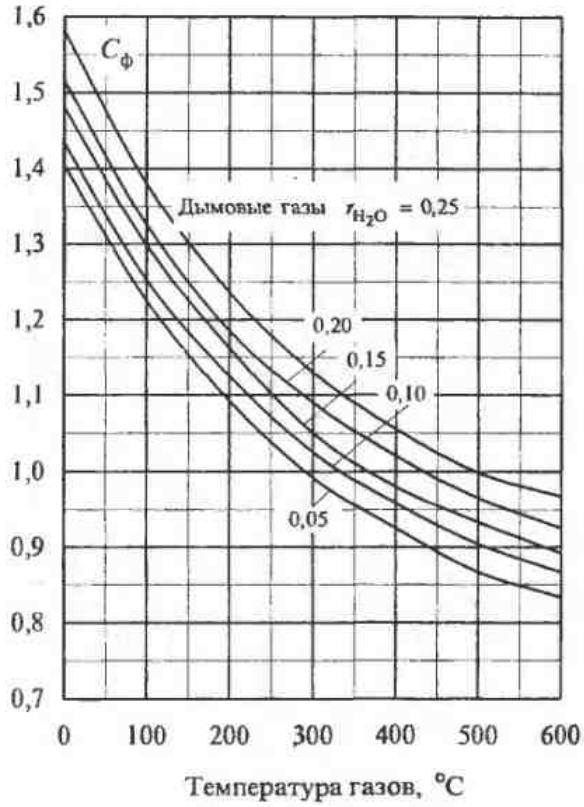


КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ

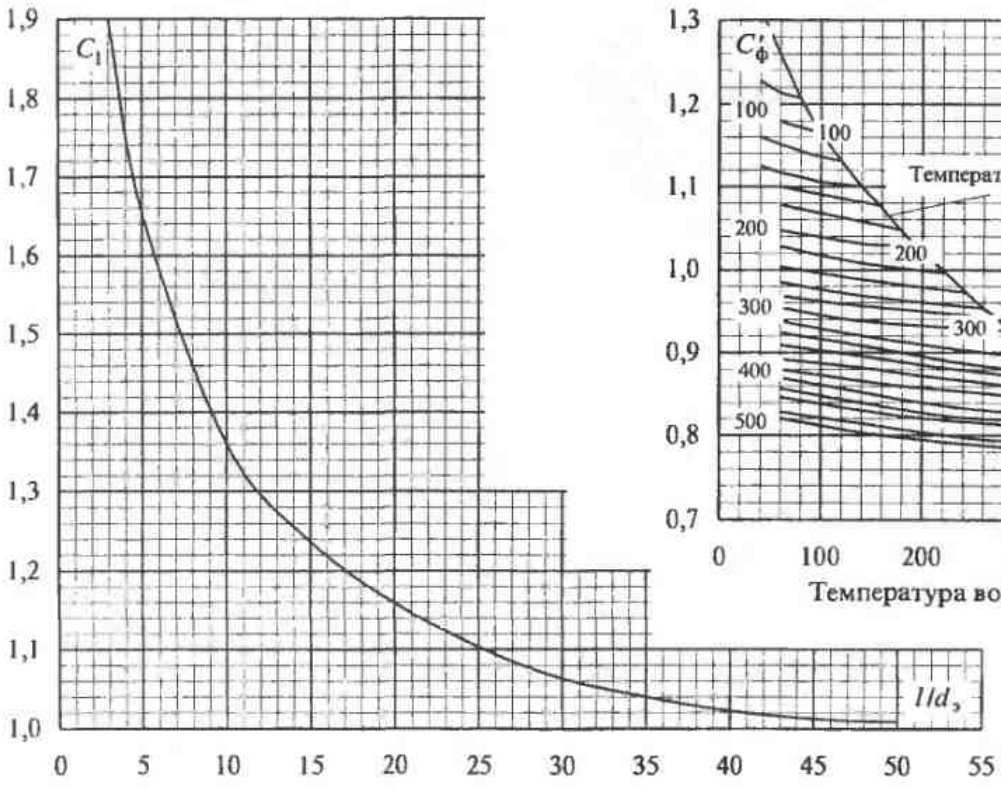


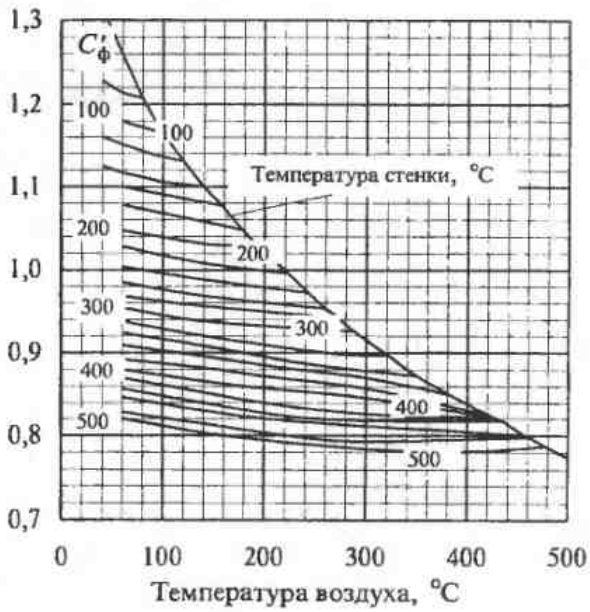
ДЛЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Номограмма 14

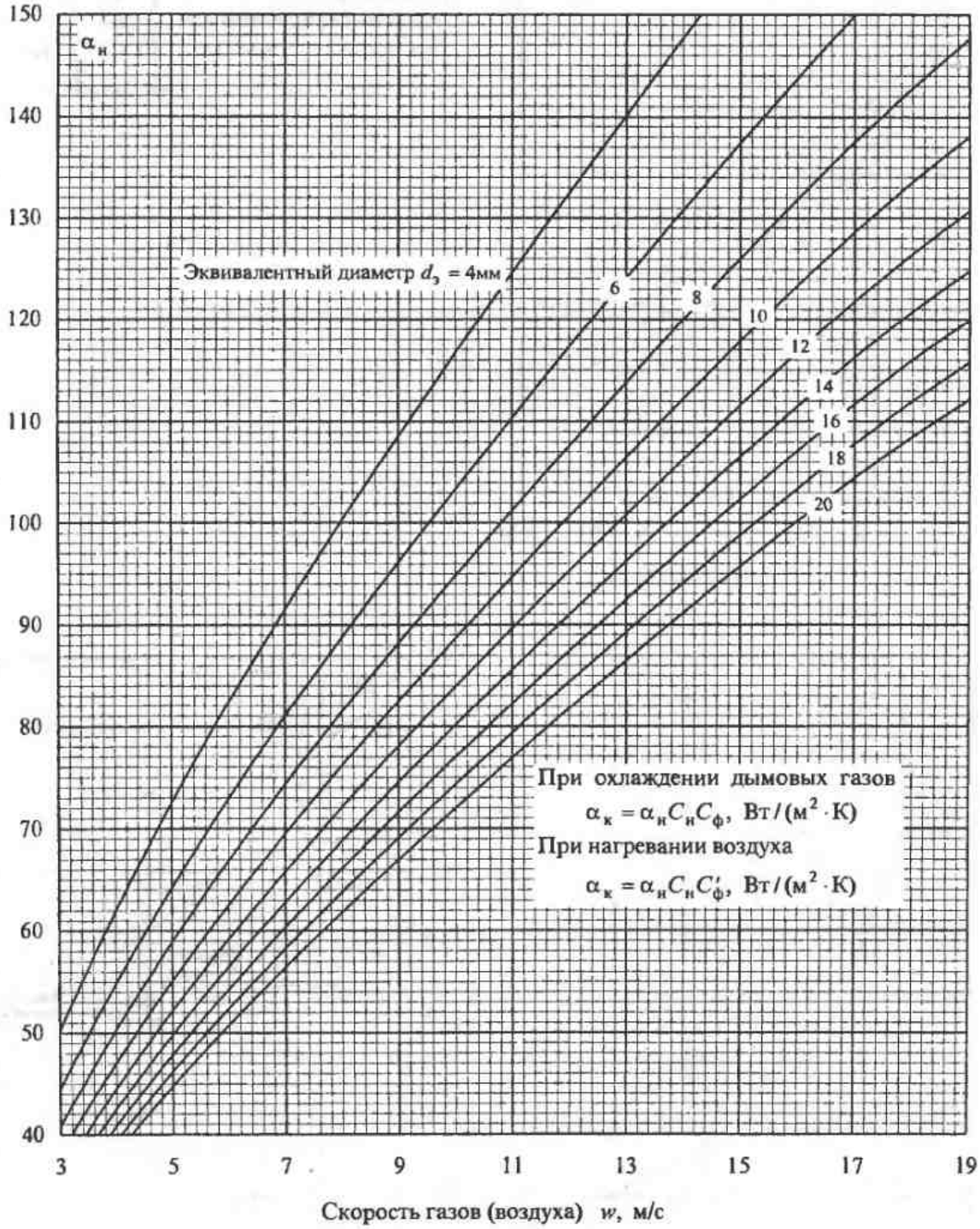


Вид набивки	$a+b$ мм	$C_н$
Гладкие листы	0	0,9
Неинтенсифицированная	2,4	1,16
Интенсифицированная	≥ 4,8	1,6



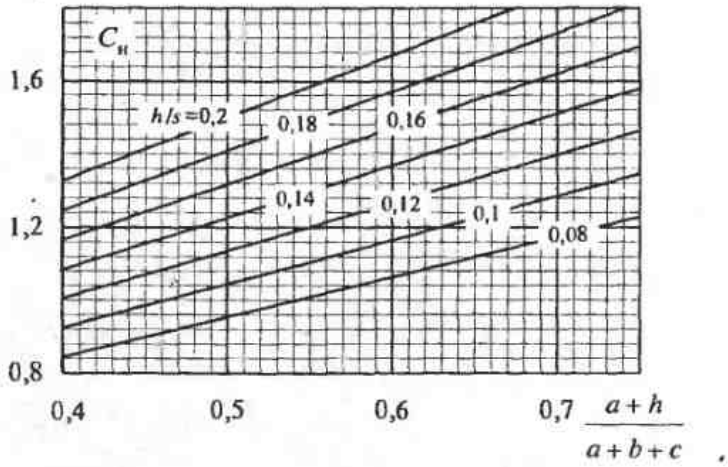


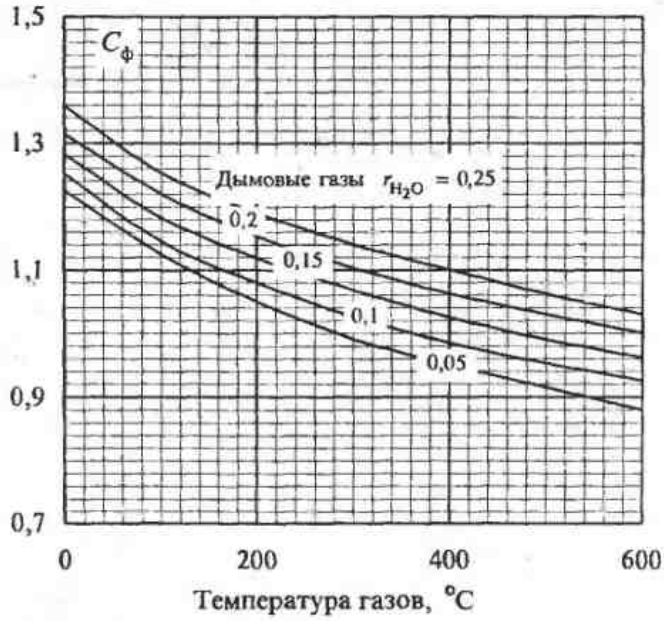
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ДЛЯ ПЕРФОРИРОВАННЫХ

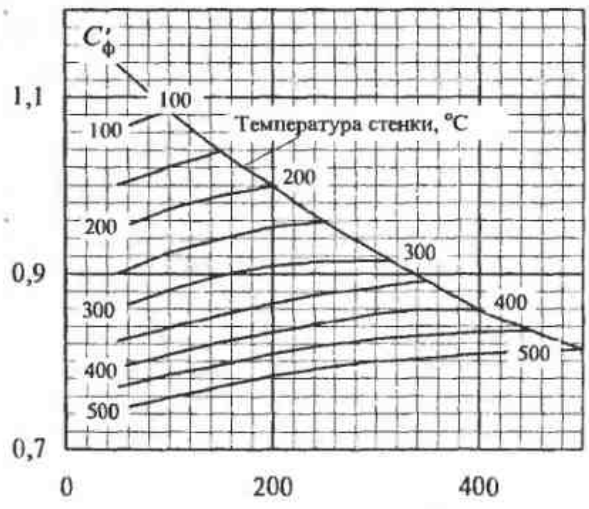


НАБИВОК РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Номограмма 15

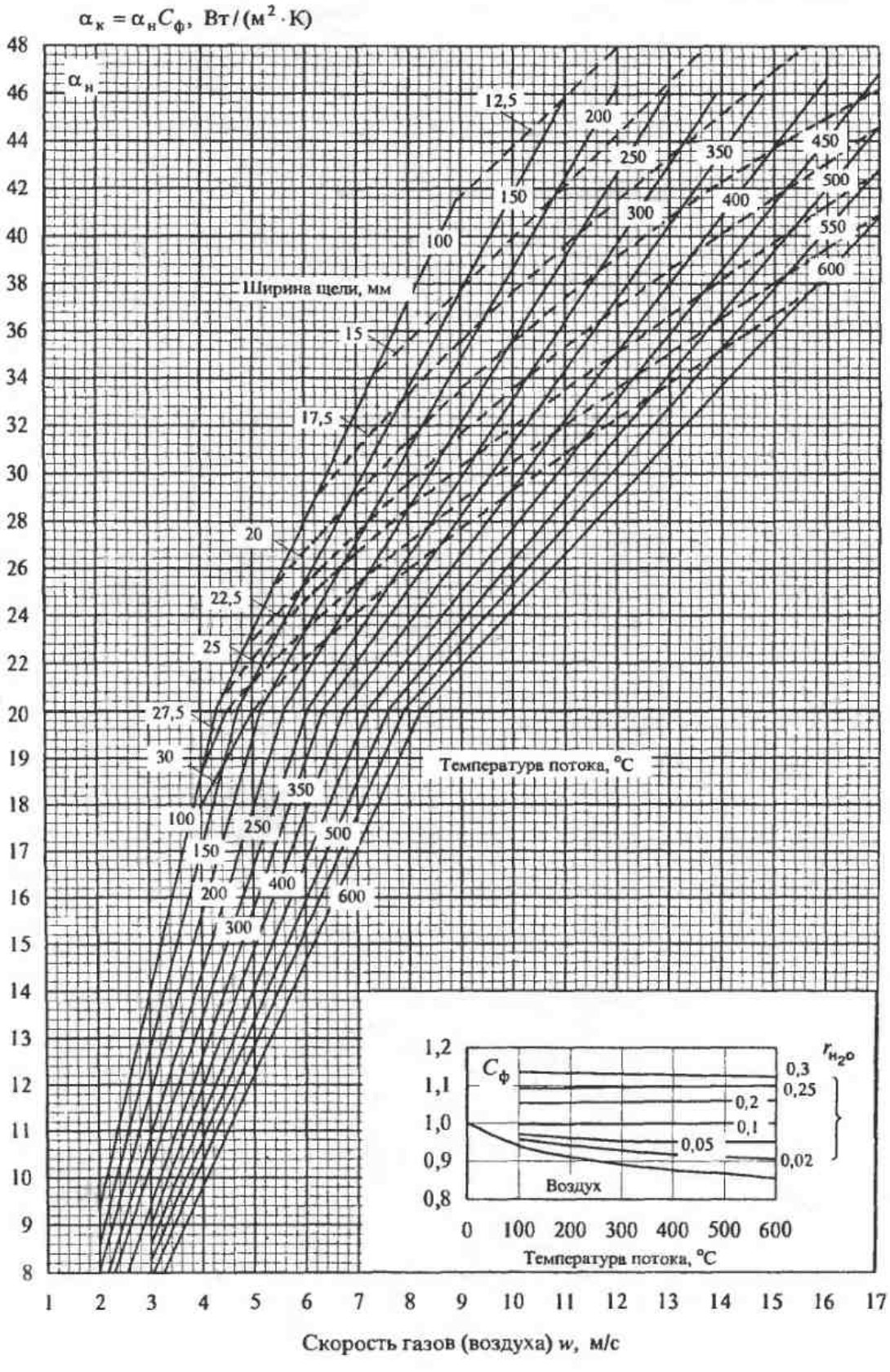






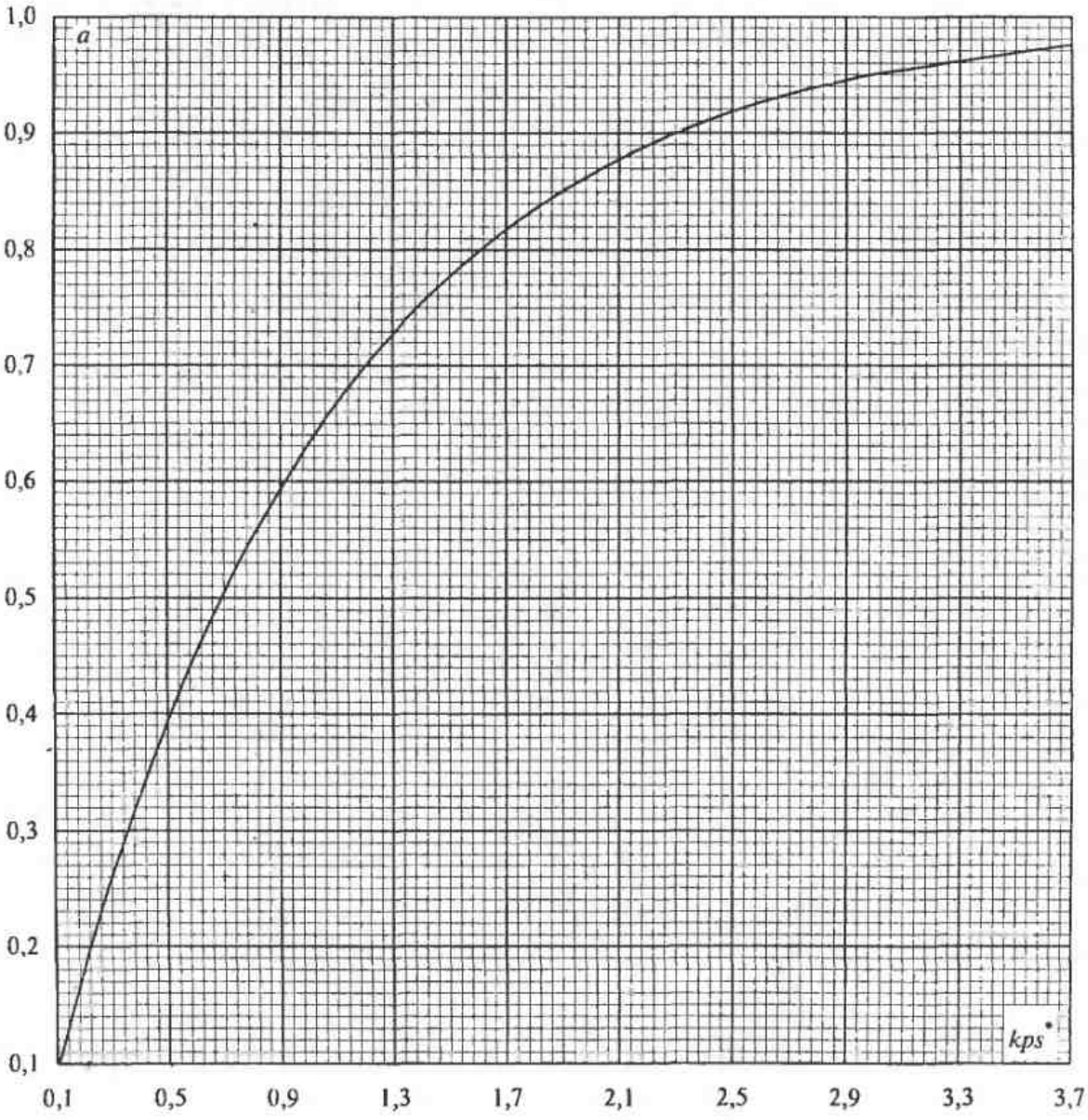
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ПРИ $Re<10^4$

Номограмма 16



СТЕПЕНЬ ЧЕРНОТЫ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

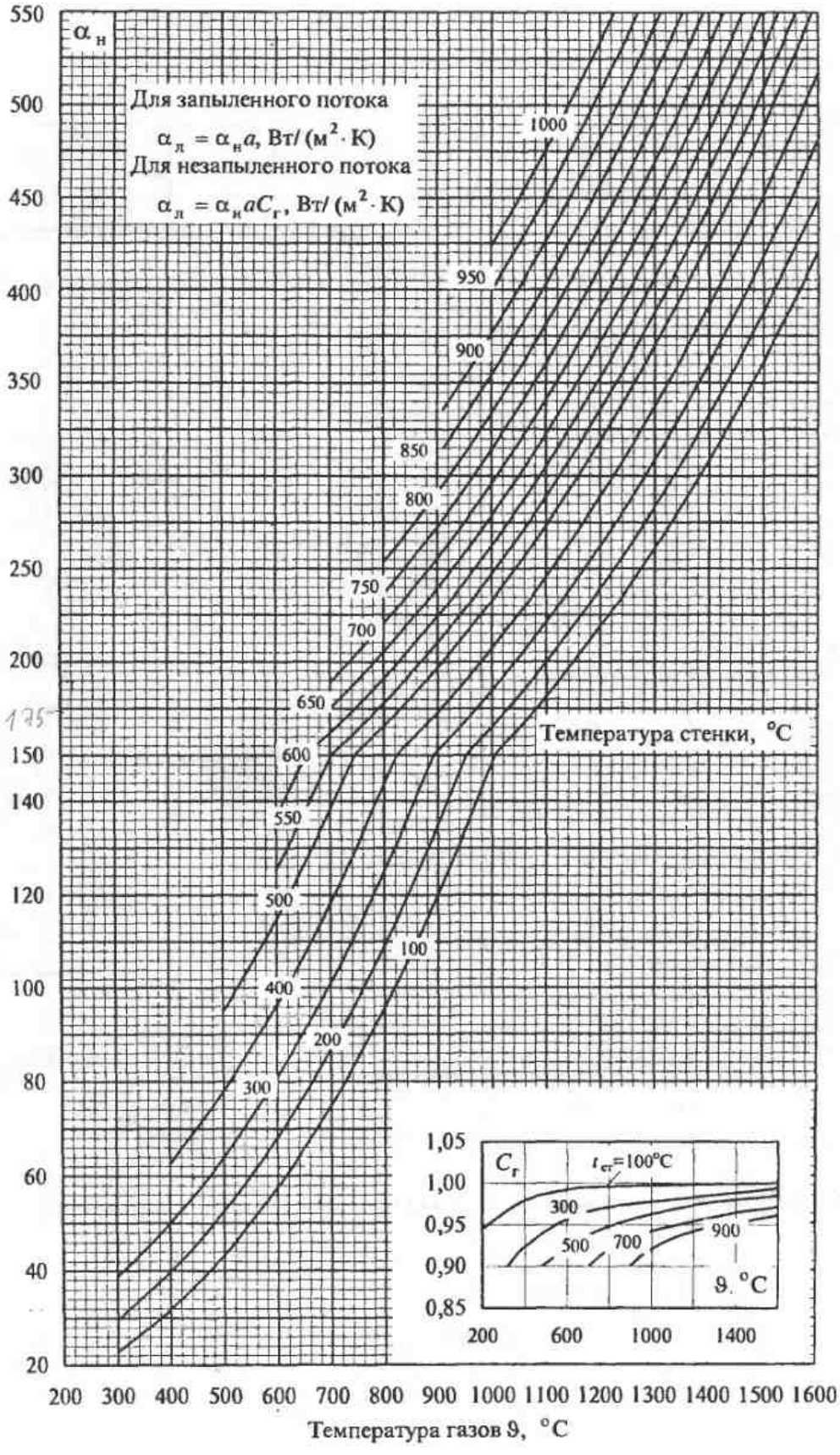
Номограмма 17



*Для котлов, работающих без наддува и с наддувом не более 0,105 МПа, принимается p =0,1 МПа

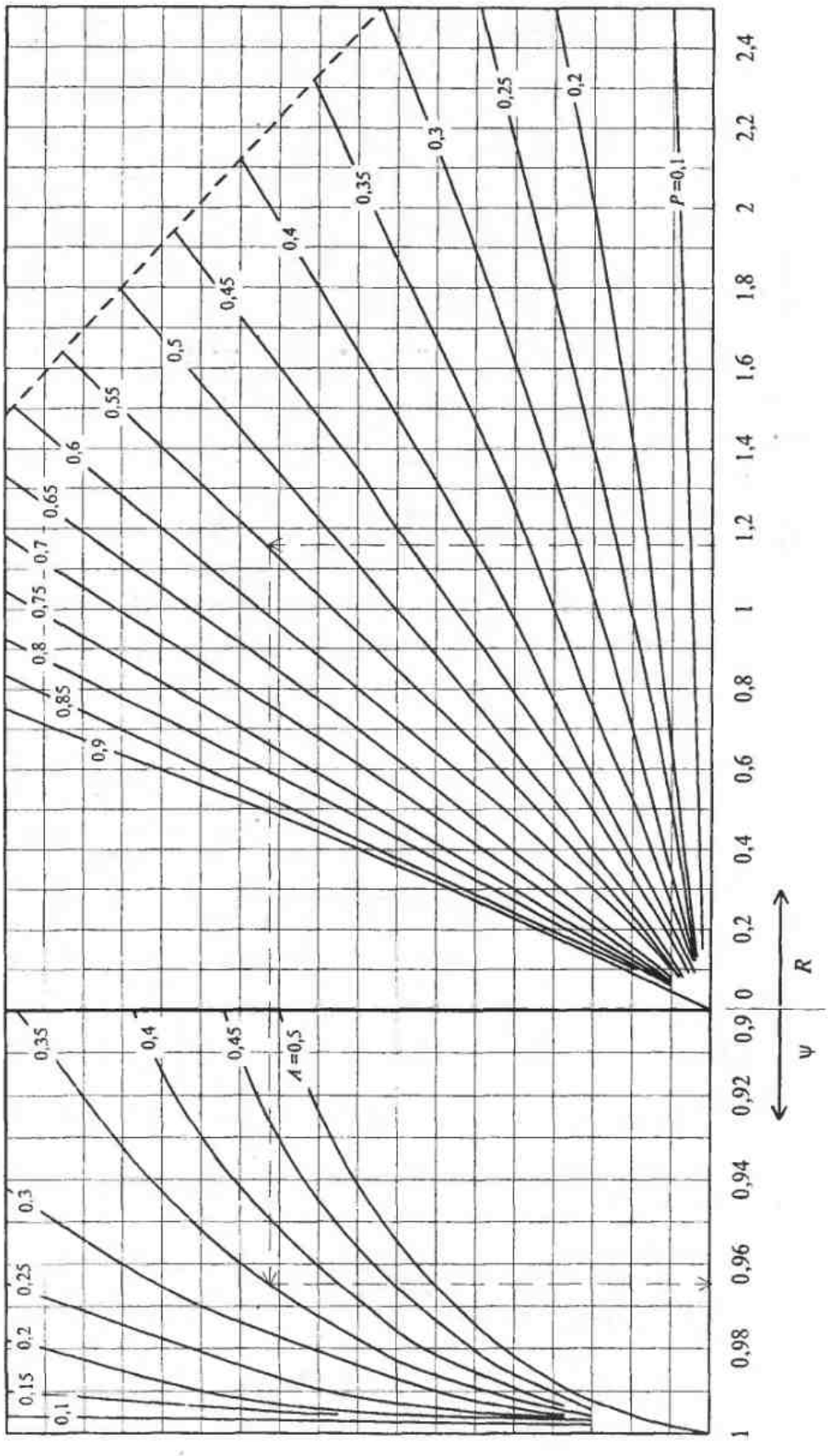
КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Номограмма 18



ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ СХЕМЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-СМЕШАННОГО ТОКА

Номограмма 19



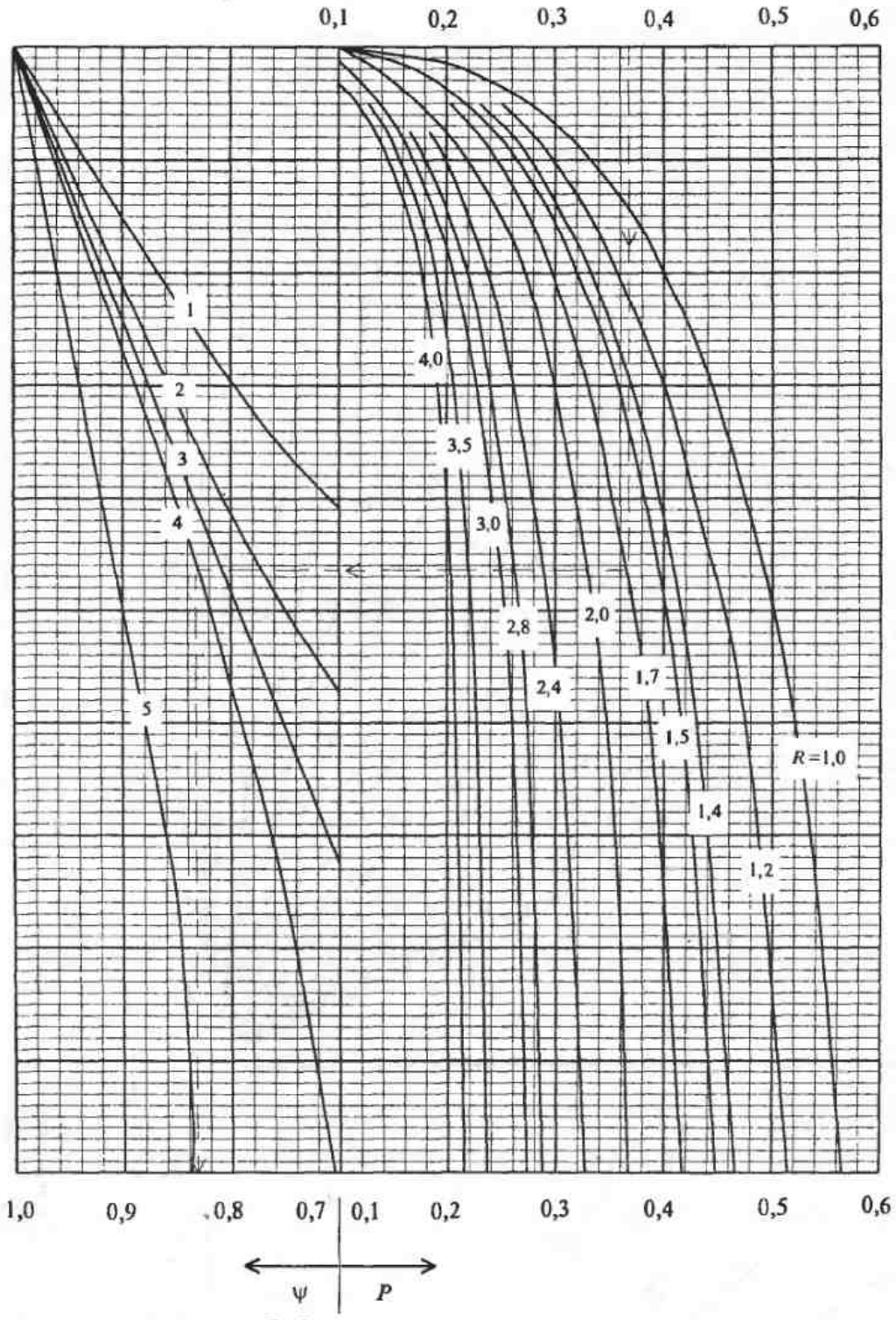
Параметры P, R, A - см. п. 7.57.

Примечание:

1. При необходимости экстраполирования расчет Δt следует вести по частям;
2. Номограмма неприменима для схем последовательно-смешанного тока, отличных от изображенных на рис. 7.17а.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ СХЕМЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-СМЕШАННОГО ТОКА

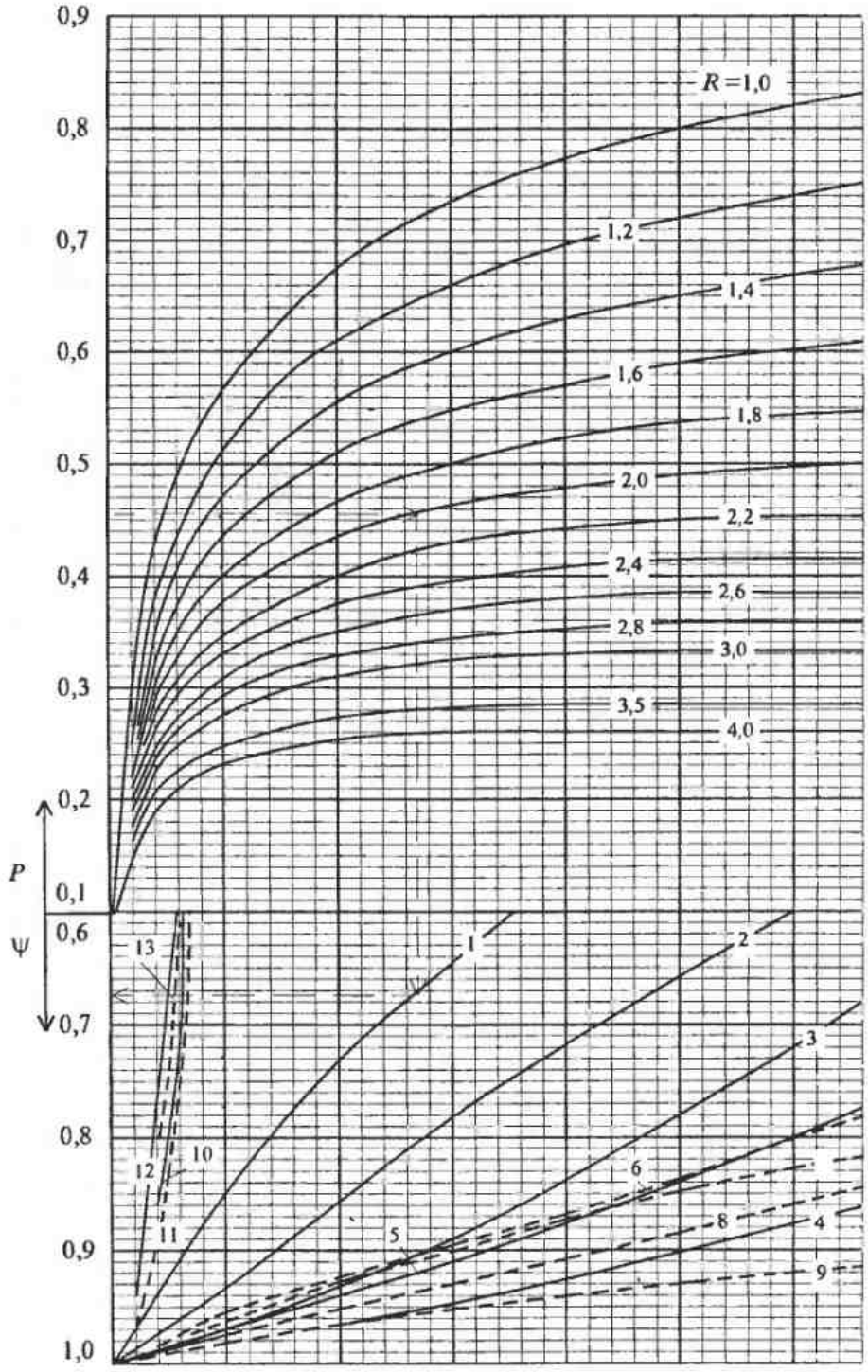
Номограмма 20



Параметры P, R - см. п. 7-58.

1- оба хода многоходовой среды прямоточные;
2- три хода многоходовой среды: два прямоточных и противоточный;
3- два хода многоходовой среды: противоточный и прямоточный;
4- три хода многоходовой среды: два противоточных и прямоточный;
5- оба хода многоходовой среды противоточные;

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР ПРИ СХЕМЕ ПЕРЕКРЕСТНОГО ТОКА | Номограмма 21

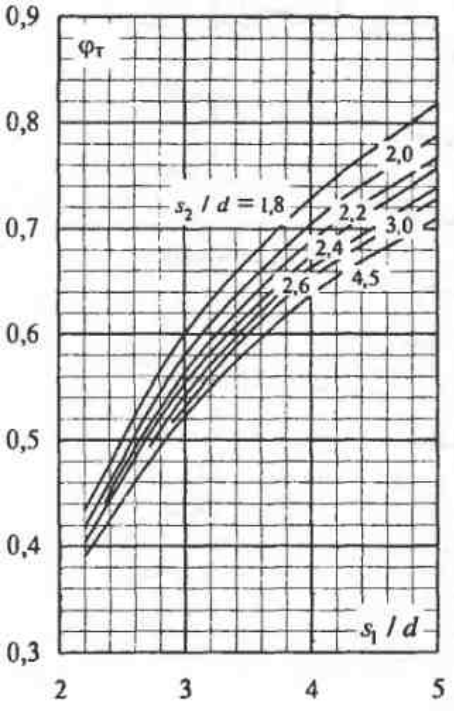


Параметры P, R - см. п. 7-58.
Номера кривых соответствуют номерам схем на рис. 7.16.
Сплошные линии - схемы C, ZC, CZ.
Пунктирные линии - схемы Z.

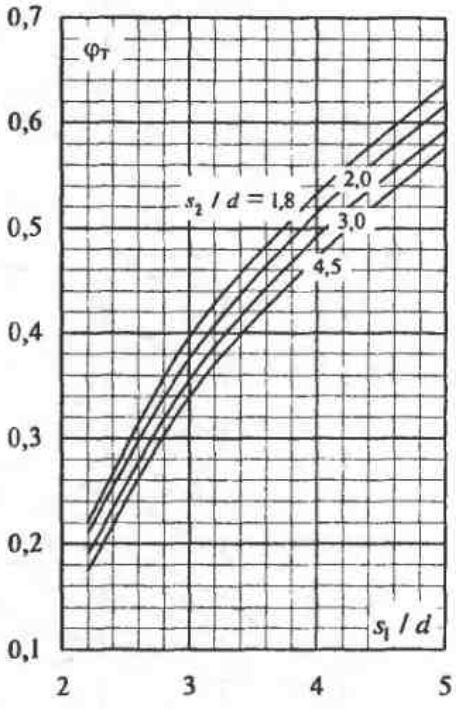
КОЭФФИЦИЕНТ ОБЛУЧЕННОСТИ ТОЧЕК С МАКСИМАЛЬНЫМ УДЕЛЬНЫМ ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕМ ДЛЯ ТРУБ ШАХМАТНЫХ ПУЧКОВ

Номограмма 22

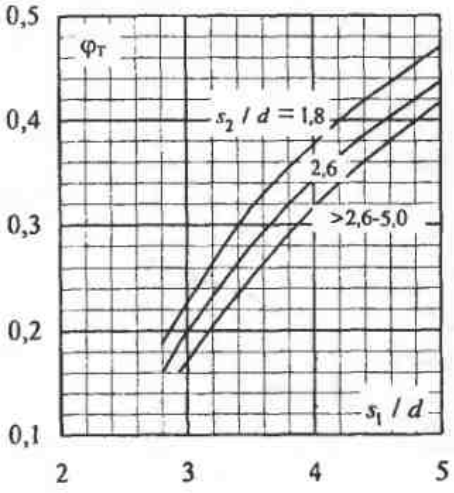
II ряд $\psi=0°$



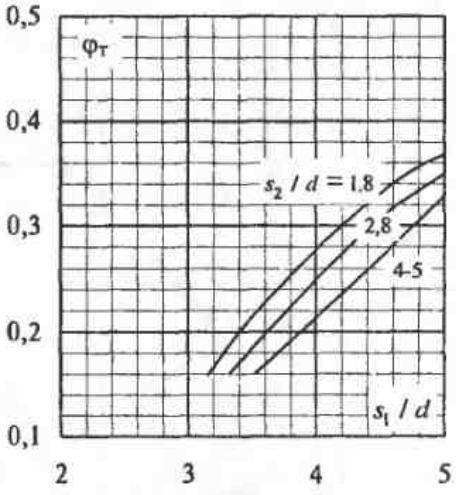
III ряд $\psi=0°$



IV ряд $\psi=0°$

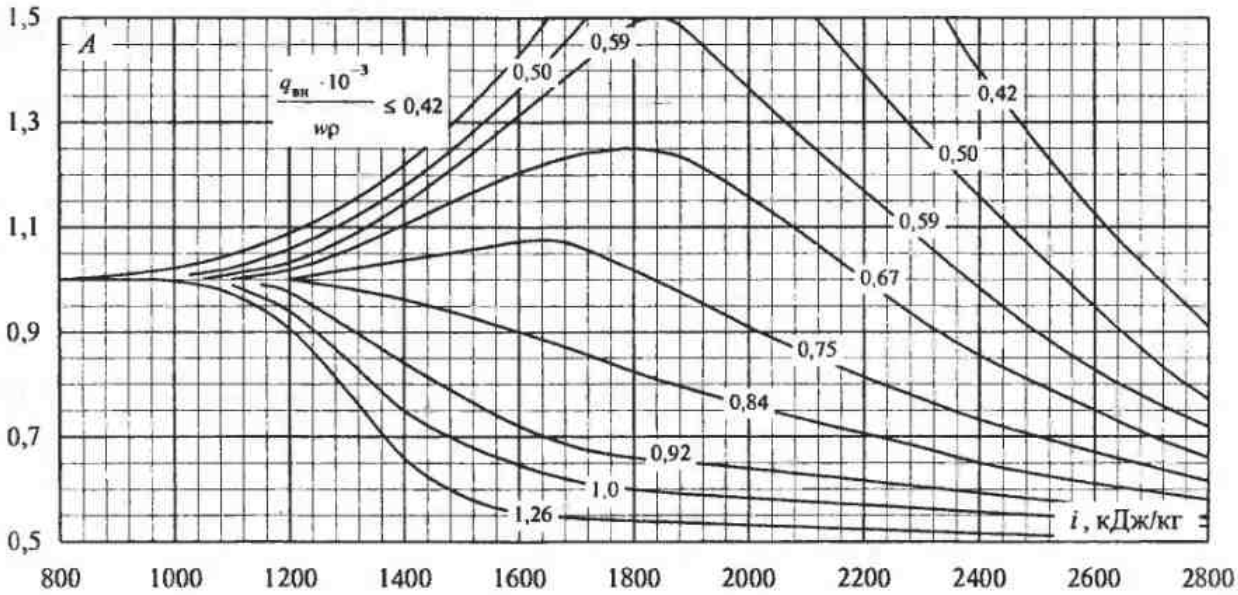


V ряд $\psi=0°$



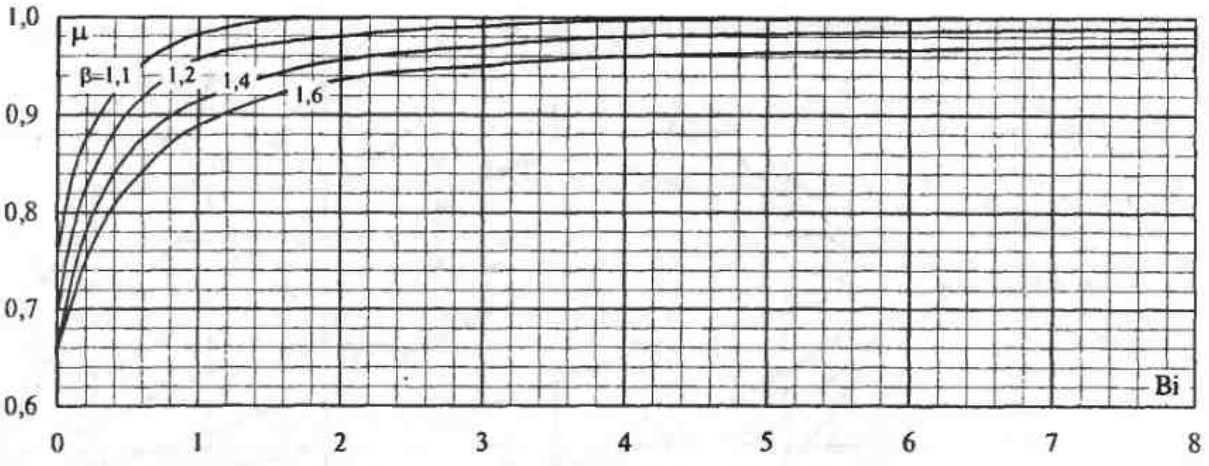
КОЭФФИЦИЕНТ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ В ОБЛАСТИ БОЛЬШИХ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ

Номограмма 23

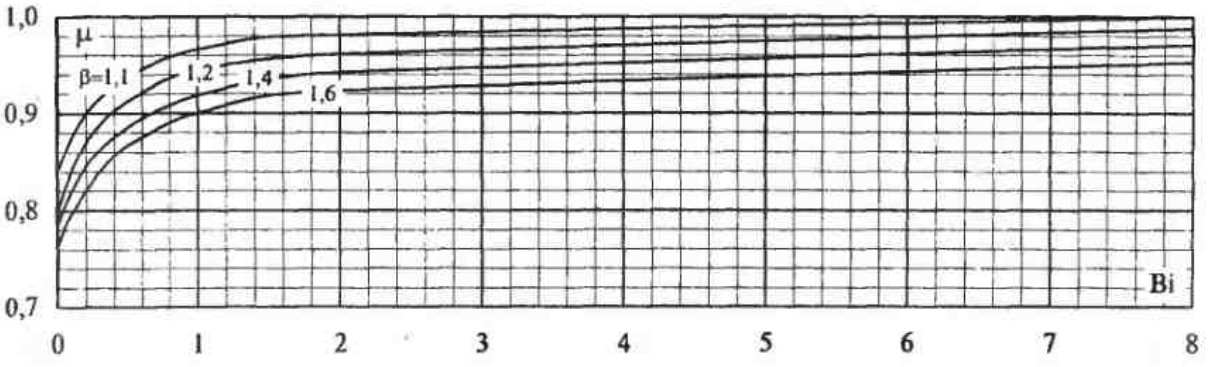


КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ТРУБ КОНВЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Номограммы 24а, 24б



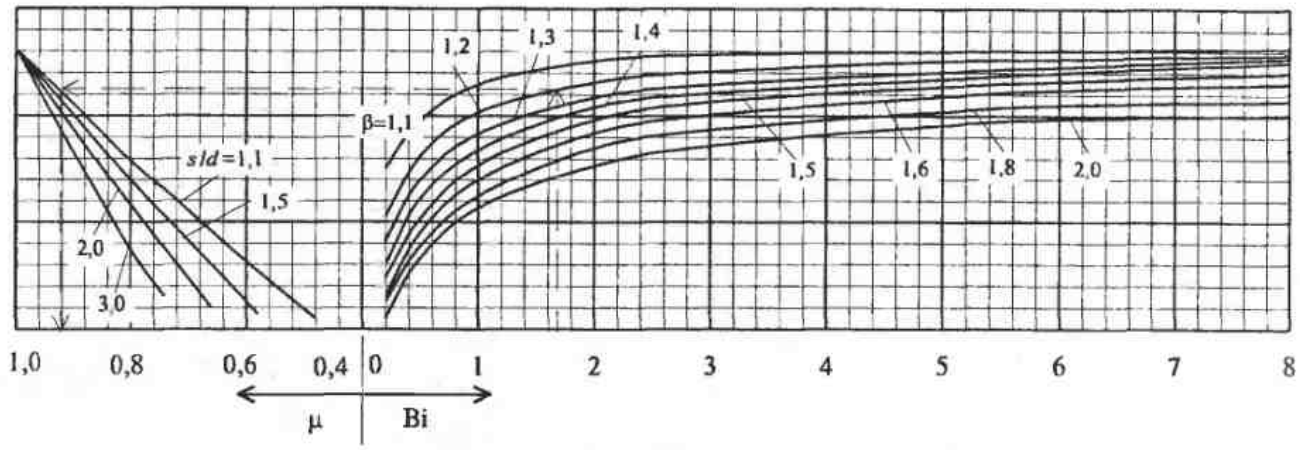
Трубы первого ряда пучков (коридорных или шахматных) с $s_1/d<3$ и второго ряда шахматных пучков.



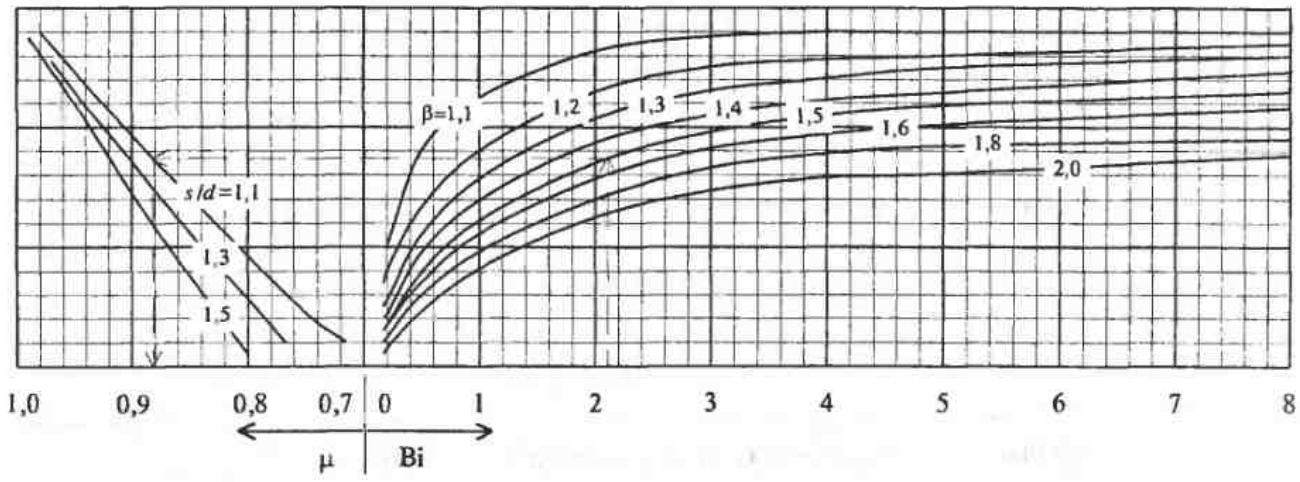
Трубы третьего (или любого из последующих) ряда шахматных и, начиная со второго ряда, коридорных пучков.

КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В ЛОБОВОЙ ТОЧКЕ

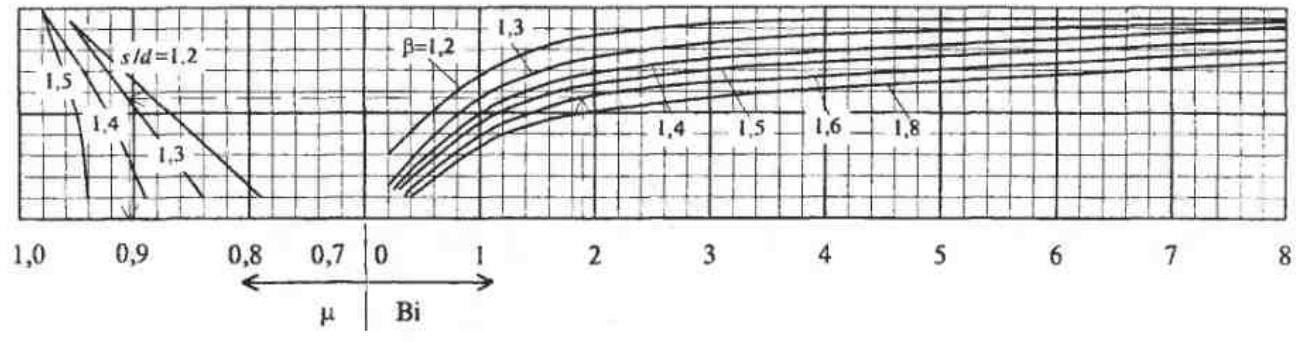
Номограмма 25
Номограмма 26
Номограмма 27



Экраны ($e \geq 0$)



Двусветные экраны и топочные ширмы

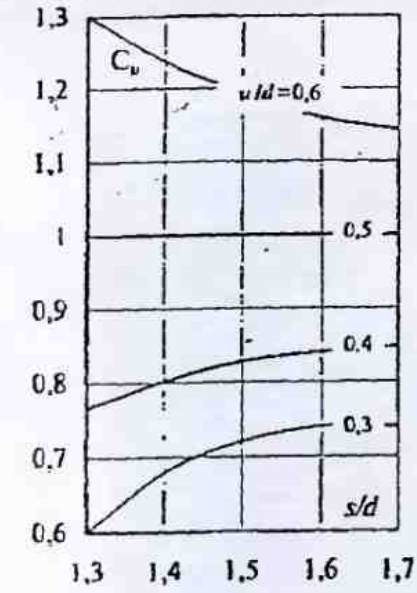


Мембранные и плавниковые двусветные экраны и топочные ширмы

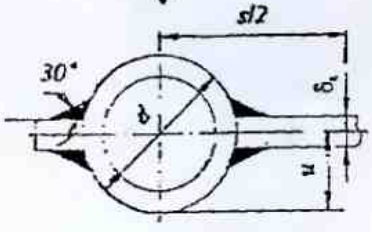
ПОПРАВКА НА СМЕЩЕНИЕ ПРОСТАВКИ КОЭФФИЦИЕНТ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Номограмма 28

а)

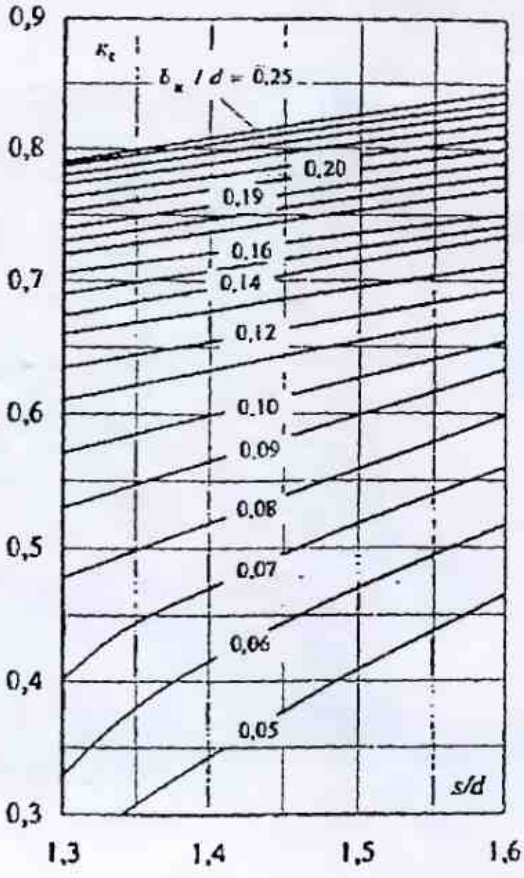


Направление излучения



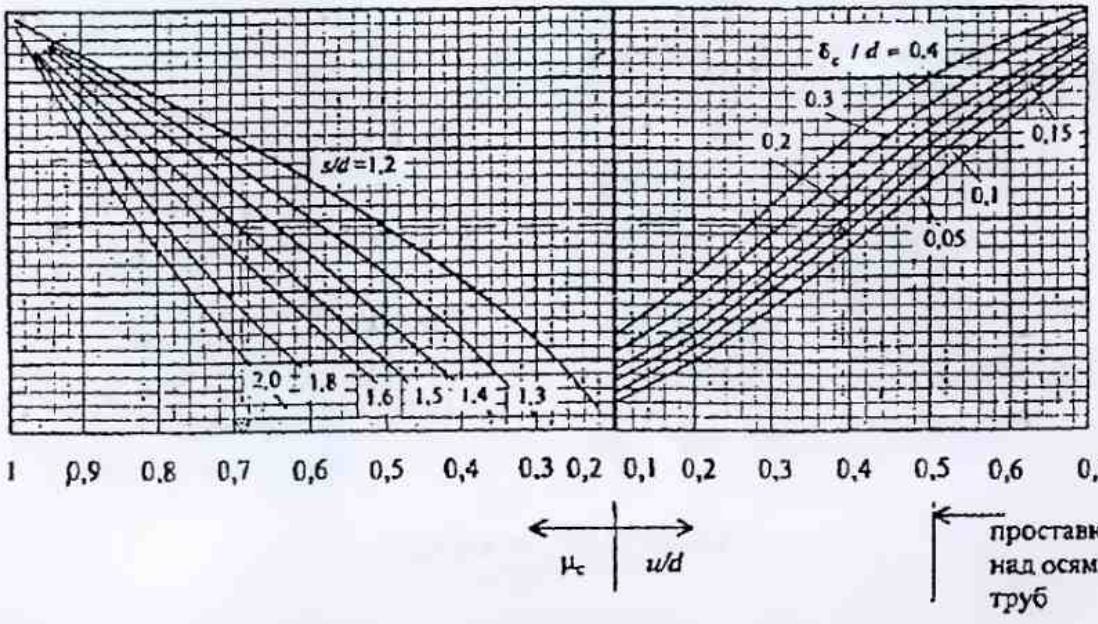
Плавниковая труба

б)



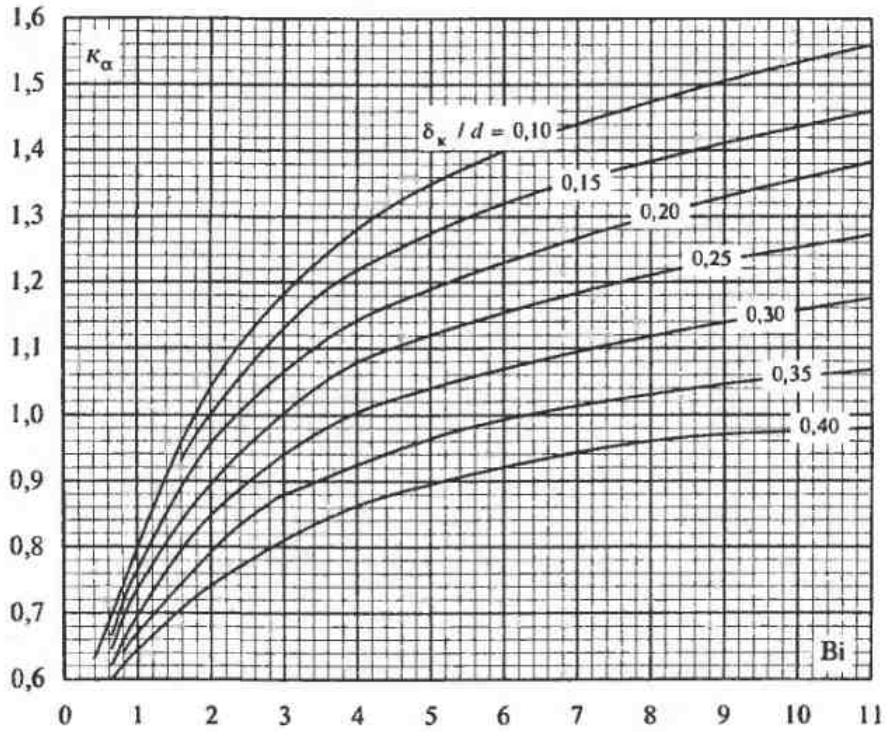
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В СЕРЕДИНЕ ПРОСТАВКИ

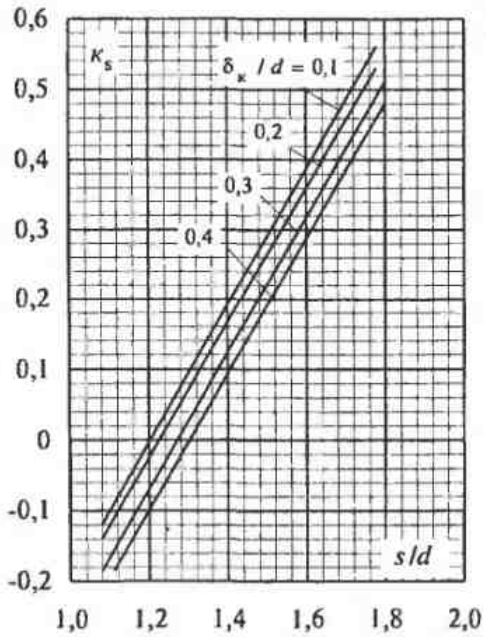
Номограмма 30

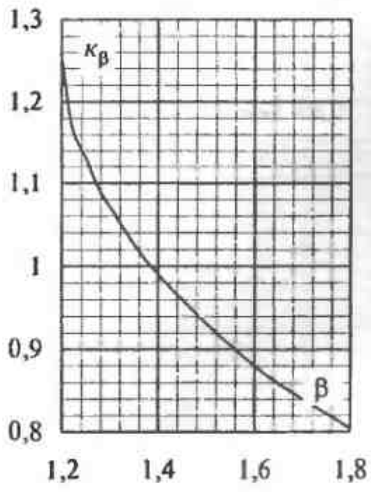


КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В КОРНЕ ПРОСТАВКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Номограмма 29



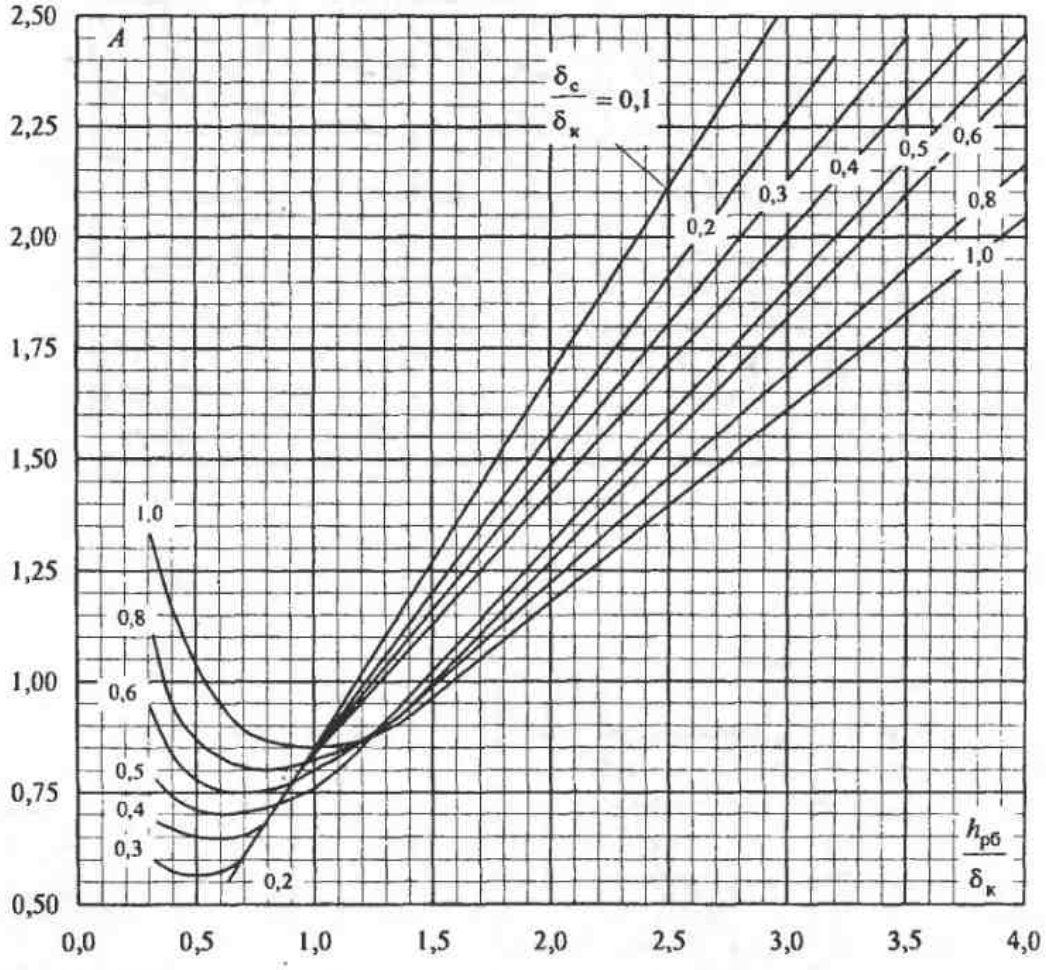




$$\mu_к = 0{,}35 + 0{,}1\delta_к / d + \kappa_\alpha \kappa_\beta \kappa_s$$

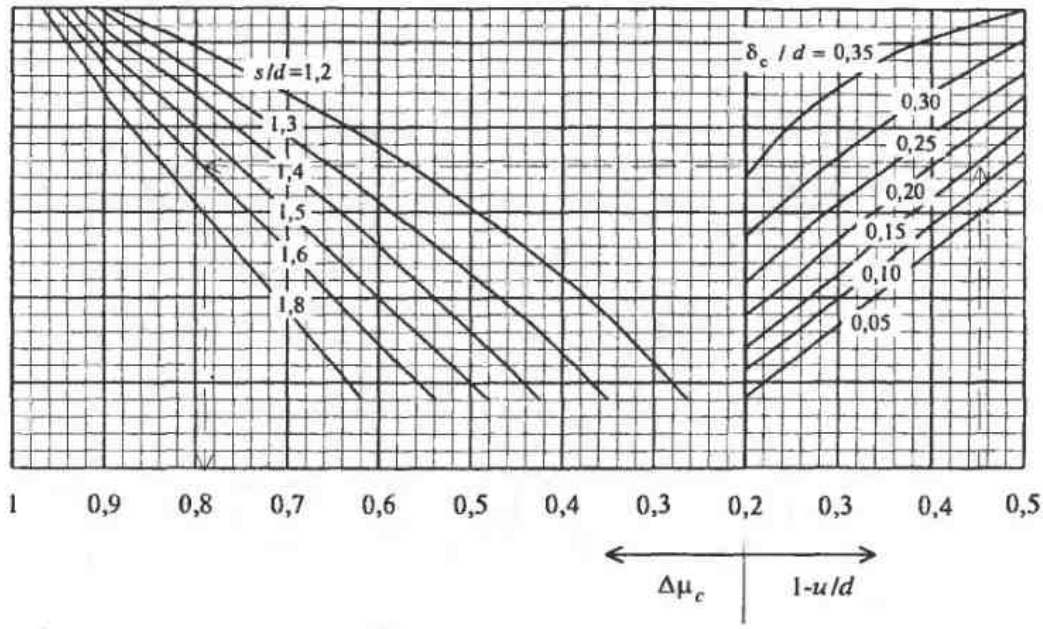
КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ПЛАВНИКА

Номограмма 31



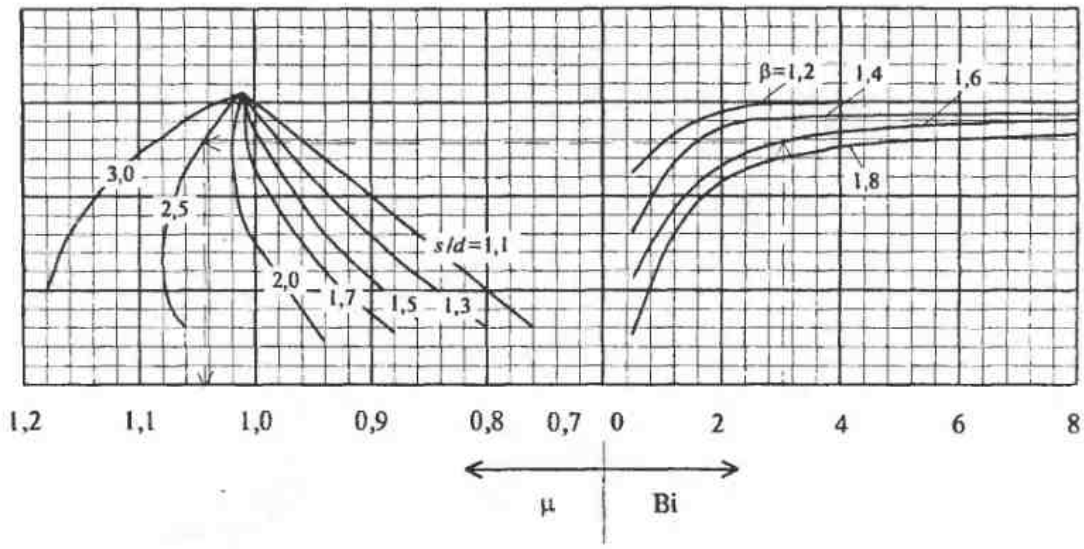
ПОПРАВКА К КОЭФФИЦИЕНТУ РАСТЕЧКИ ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ОБЛУЧЕНИИ

Номограмма 32



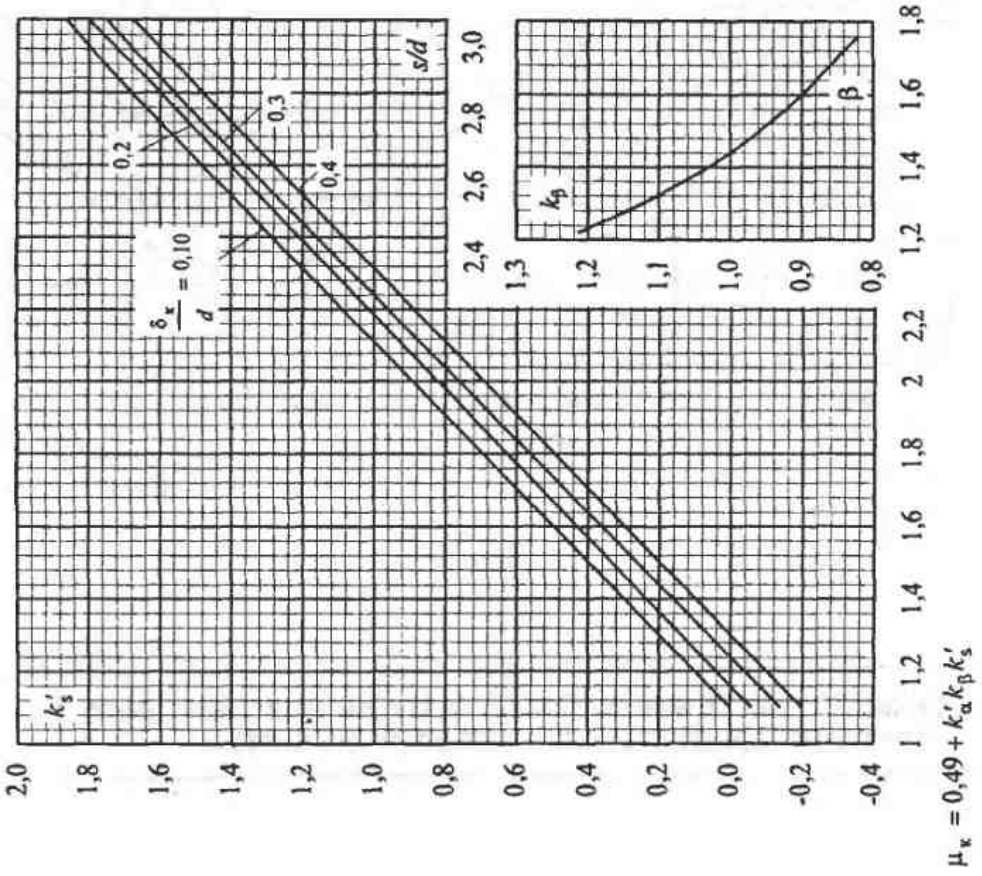
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В ЛОБОВОЙ ТОЧКЕ ПЛАВНИКОВЫХ ТРУБ ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОВОСПРИЯТИИ

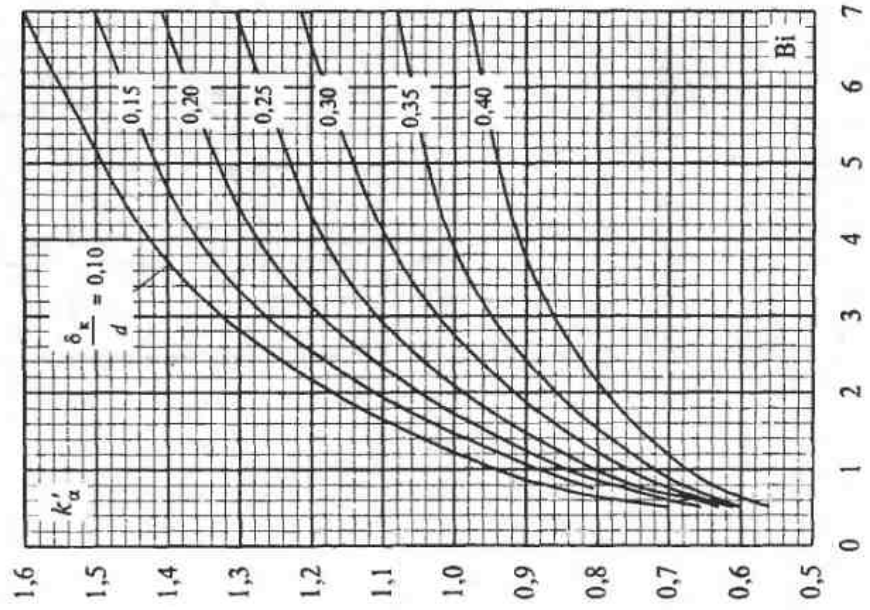
Номограмма 33



КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ В КОРНЕ ПРОСТАВКИ ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОВОСПРИЯТИИ

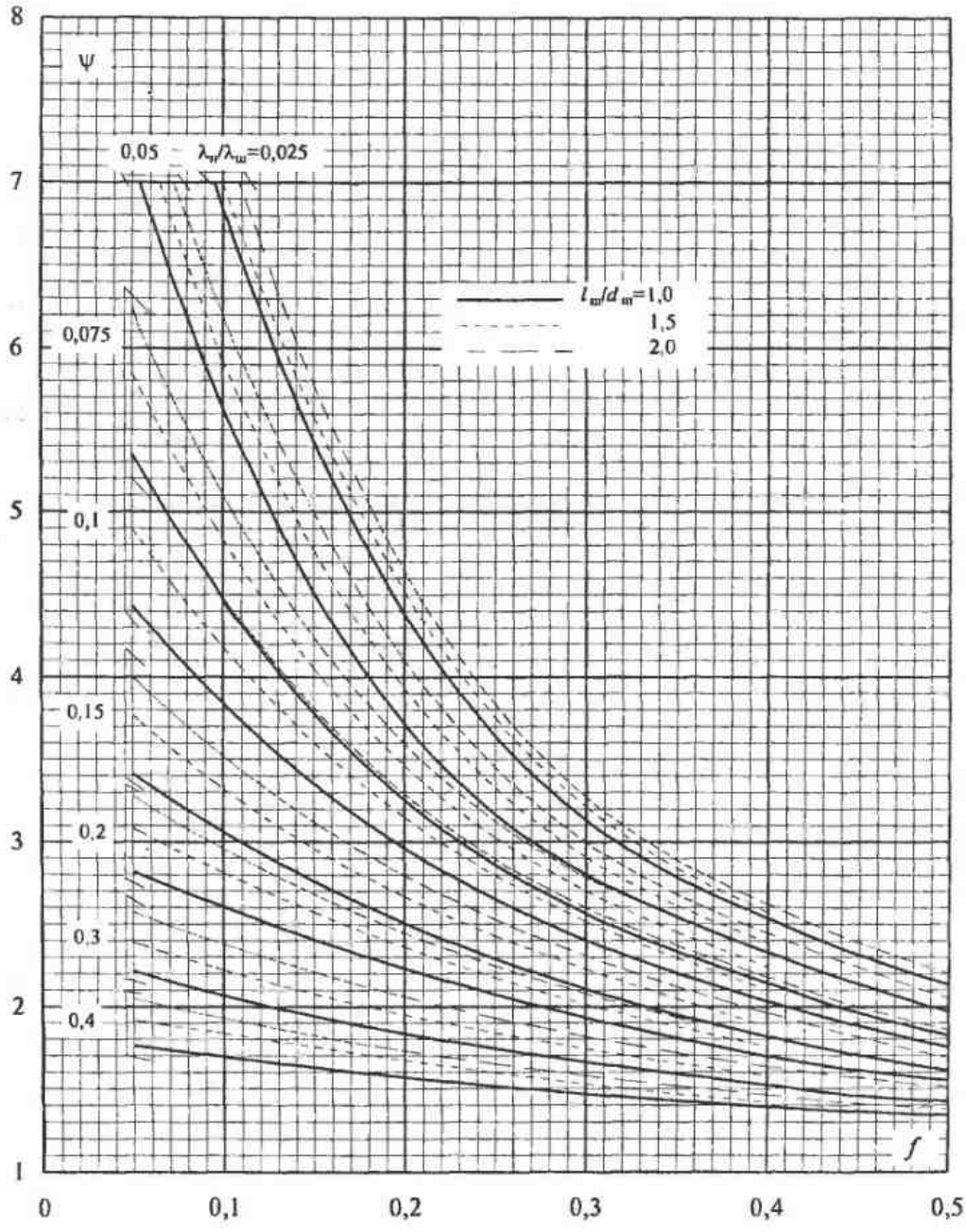
Номограмма 34





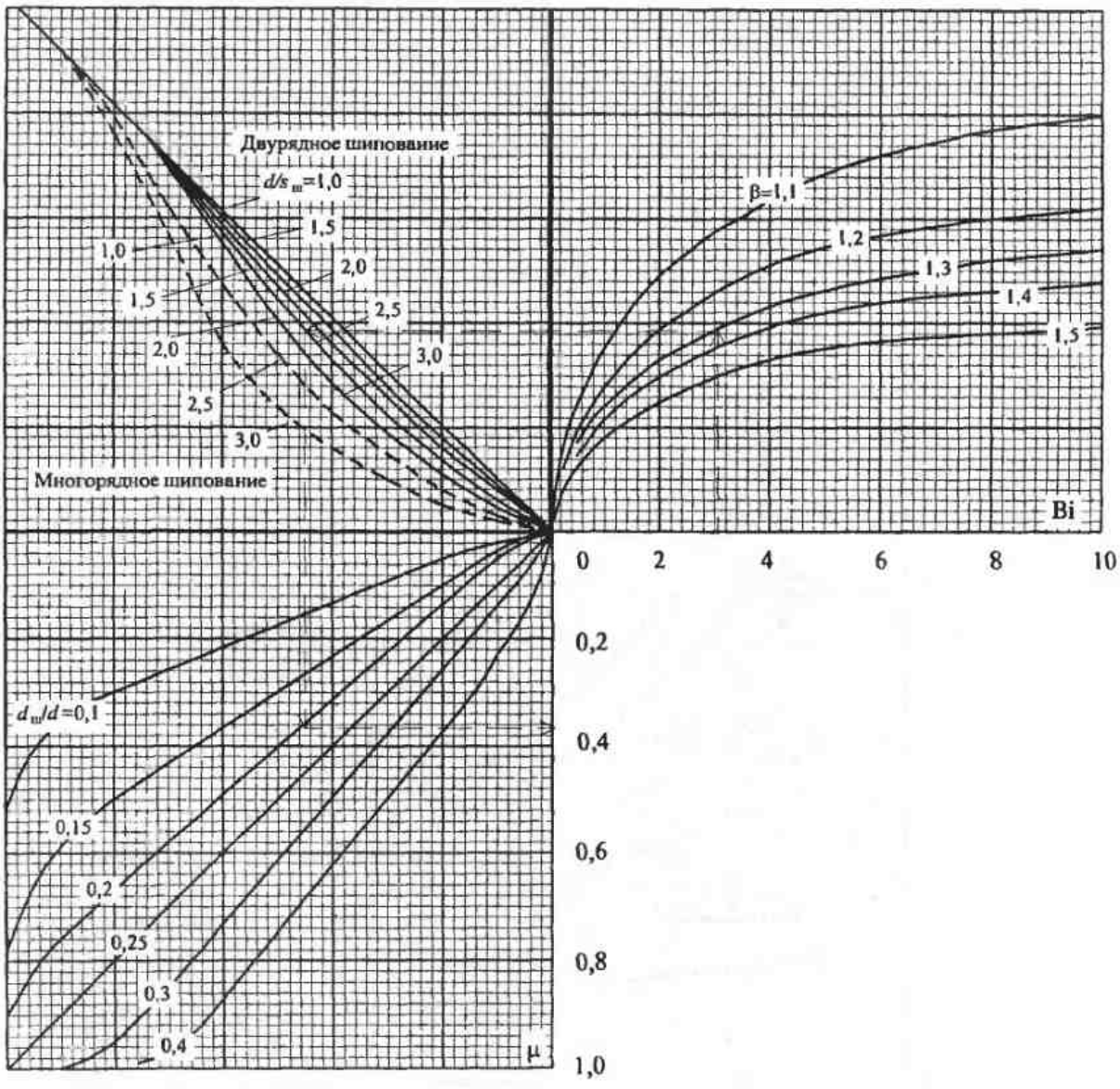
КОЭФФИЦИЕНТ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В ОСНОВАНИИ ШИПА

Номограмма 35



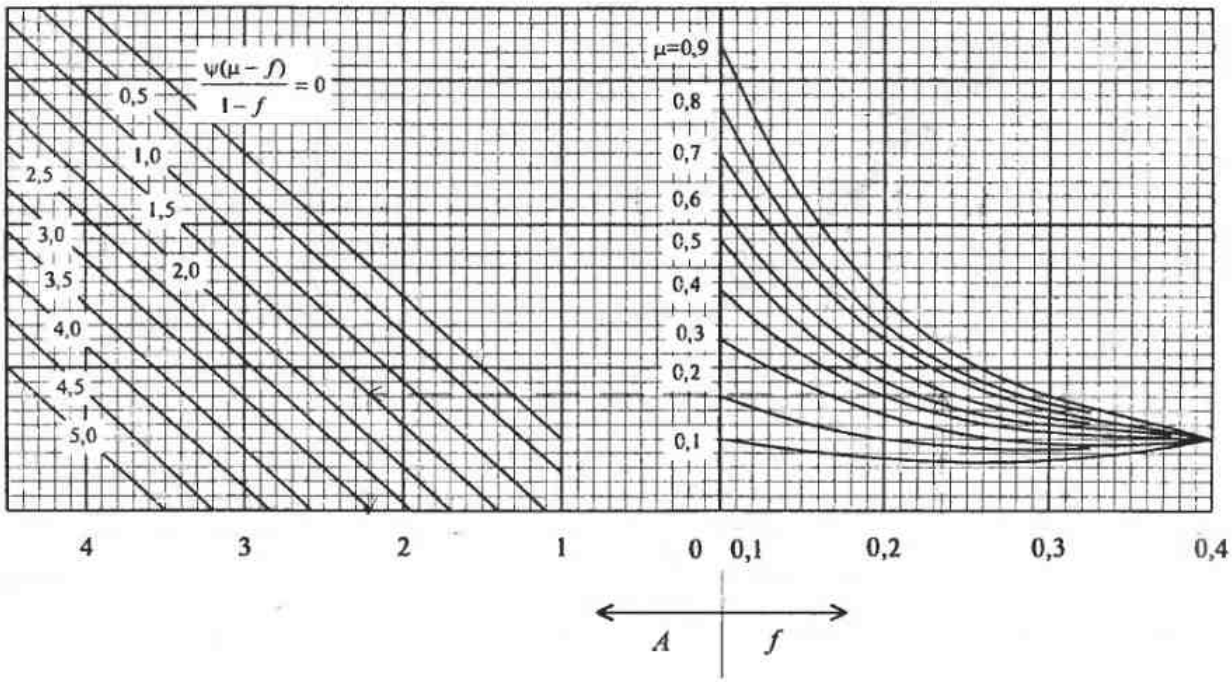
КОЭФФИЦИЕНТ РАСТЕЧКИ ДЛЯ ОШИПОВАННОЙ ТРУБЫ

Номограмма 36а

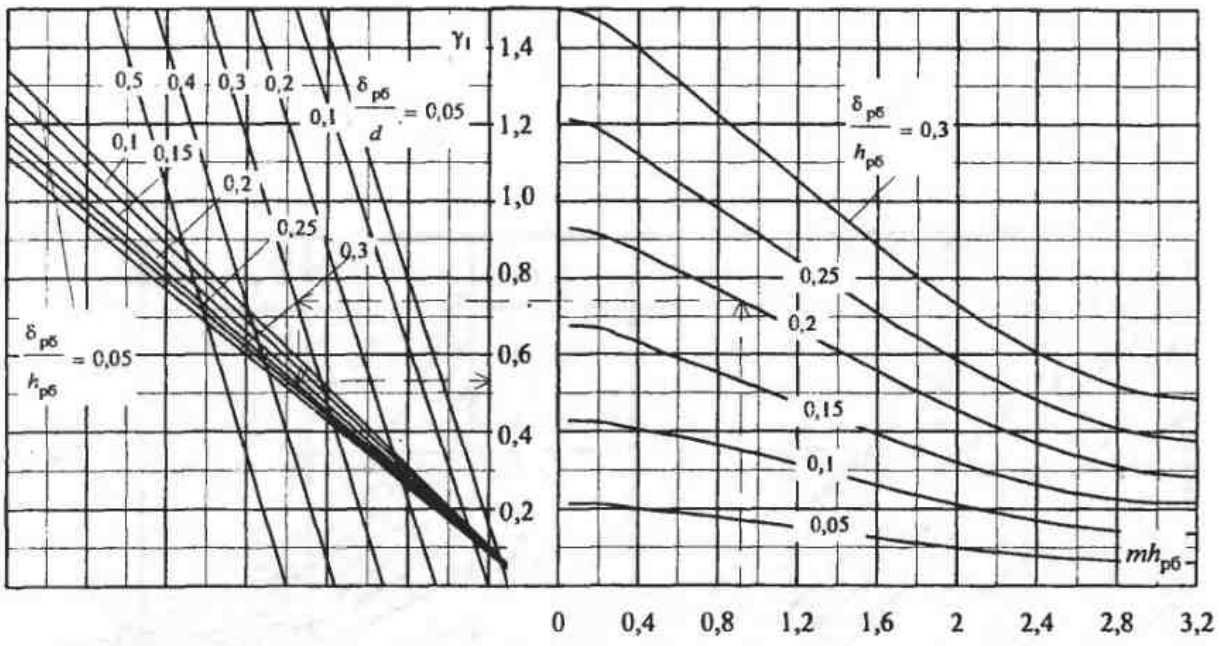


КОМПЛЕКС *A* ДЛЯ ОШИПОВАННОЙ ТРУБЫ

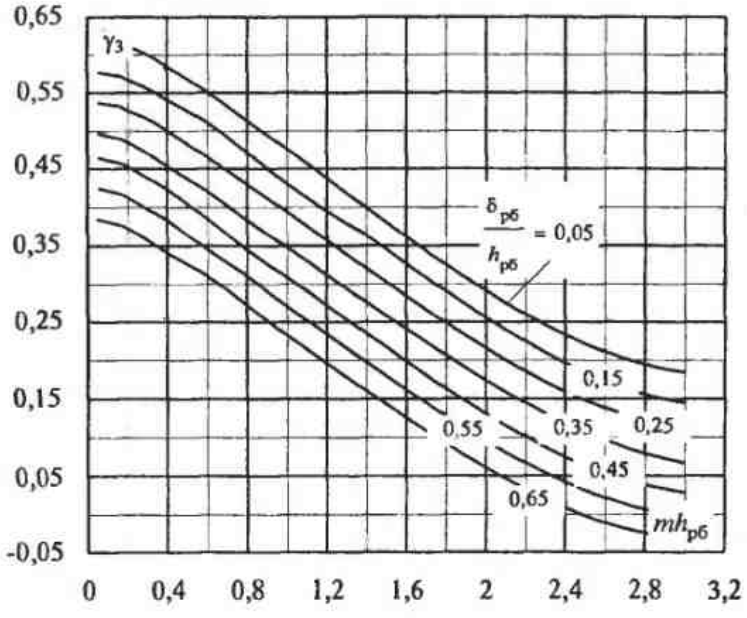
Номограмма 36б



ПАРАМЕТР $\gamma_1 = f(mh_{рб}, \delta_{рб}/d, \delta_{рб}/h_{рб})$ | Номограмма 37

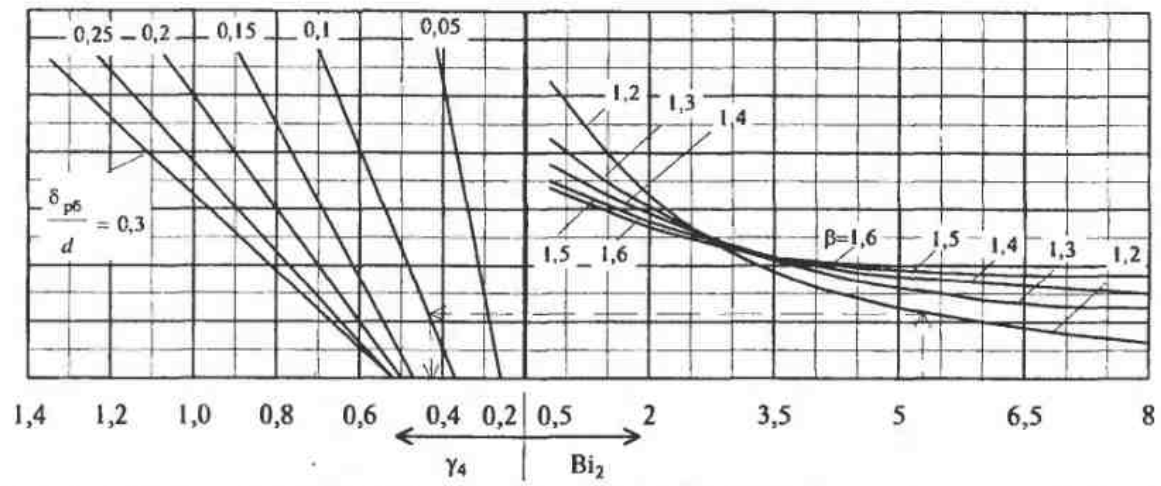


ПАРАМЕТР $\gamma_3 = f(mh_{рб}, \delta_{рб}/h_{рб})$ | Номограмма 38



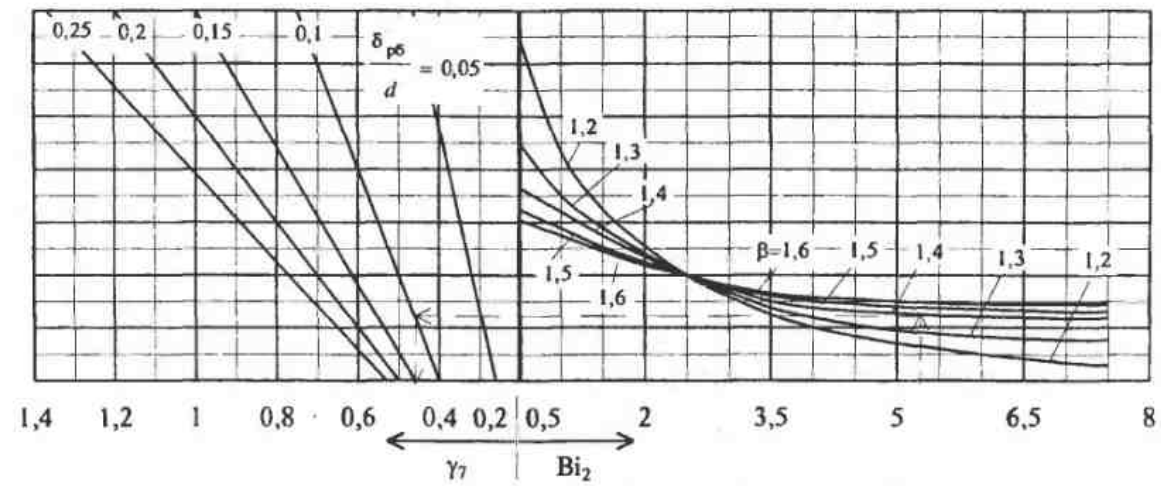
ПАРАМЕТР $\gamma_4 = f(Bi_2, \beta, \delta_{рб}/d)$

Номограмма 39



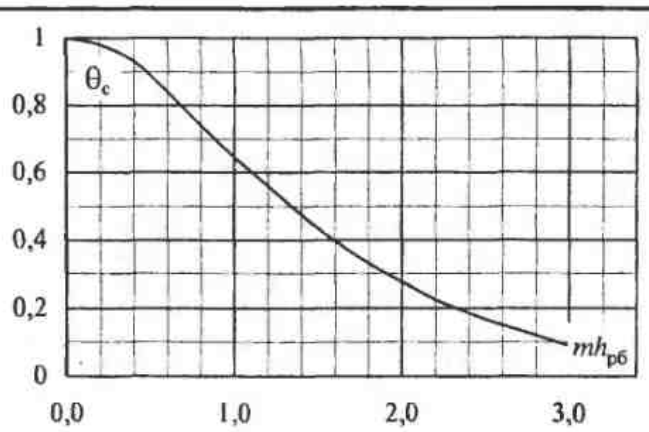
ПАРАМЕТР $\gamma_7 = f(Bi_2, \beta, \delta_{рб}/d)$

Номограмма 40

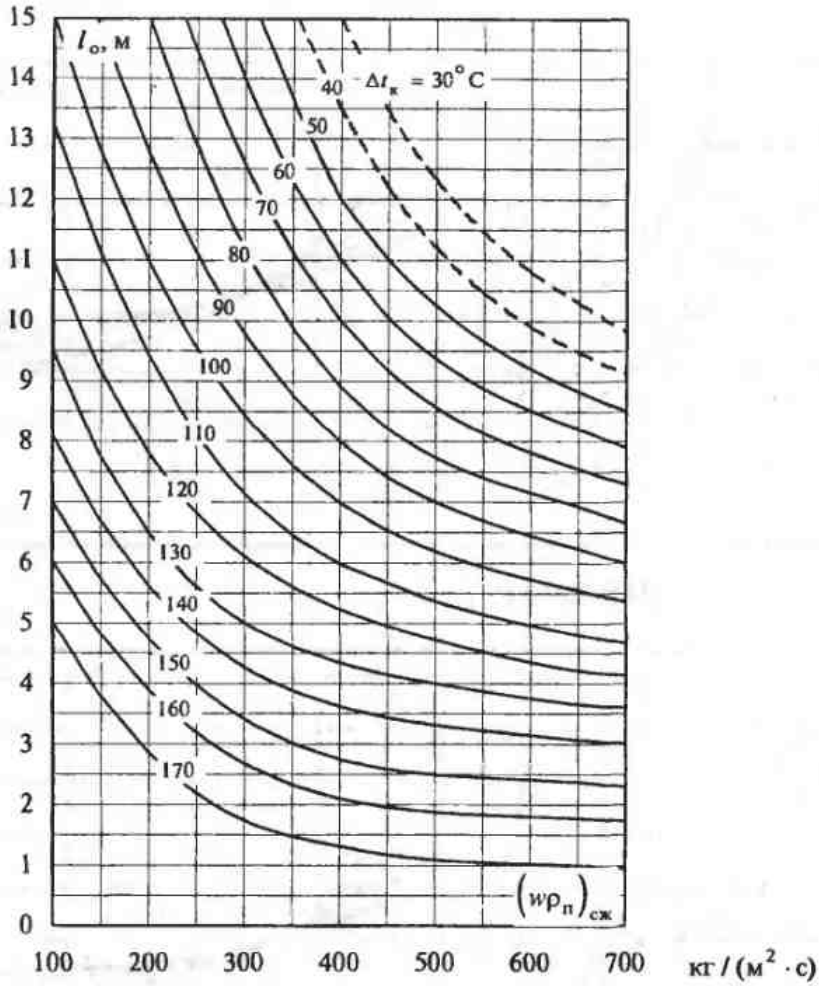


БЕЗРАЗМЕРНАЯ ТЕМПЕРАТУРА В СЕРЕДИНЕ ПРОСТАВКИ

Номограмма 41

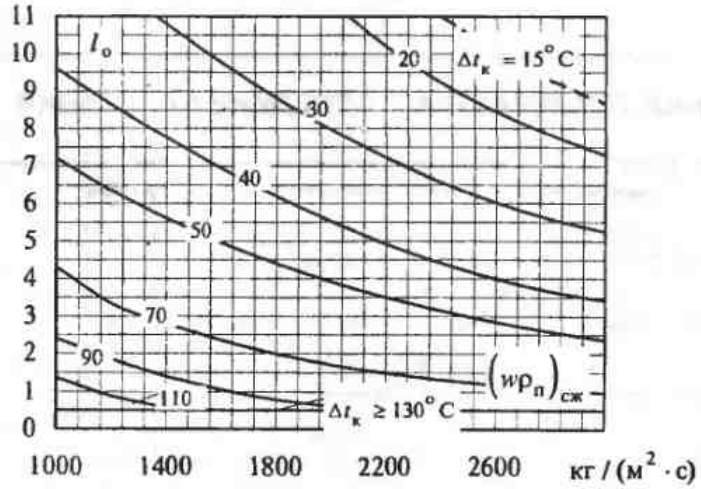


ДЛИНА ИСПАРИТЕЛЬНОГО УЧАСТКА



ВПО с цилиндрической защитной рубашкой и струйной форсункой

$$l_{исп} = l_o k_р k_t$$

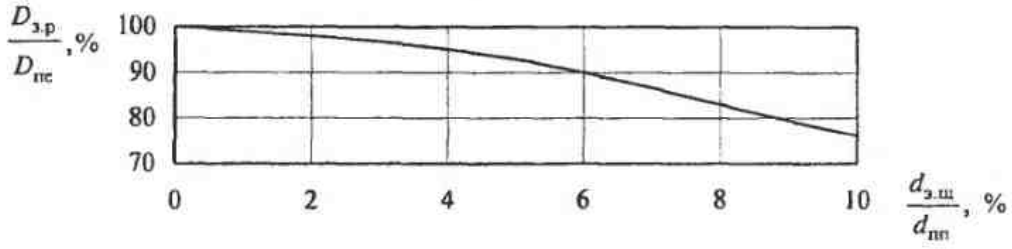


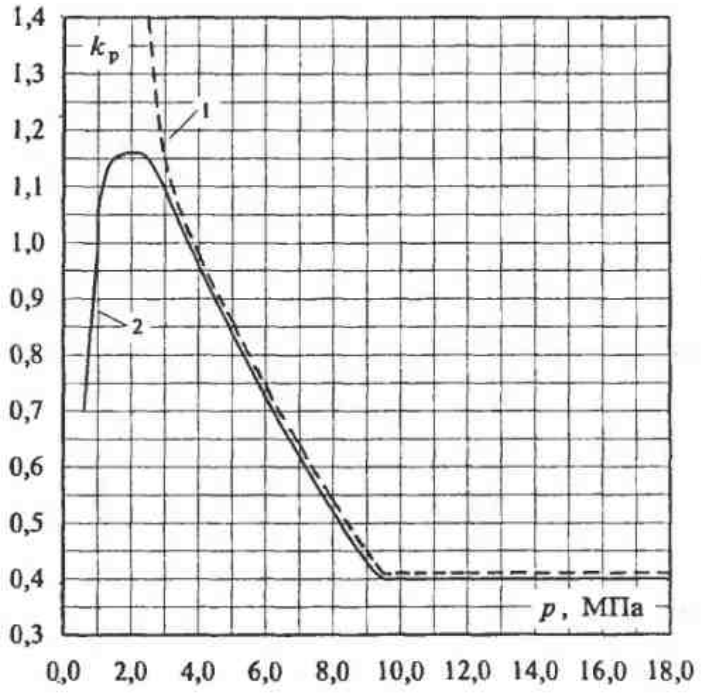
ВПО с впрыском в трубу Вентури

$$l_{исп} = 5 l_o k_р k_t \left(\frac{d_{сж}}{d_{пп}}\right)^2$$

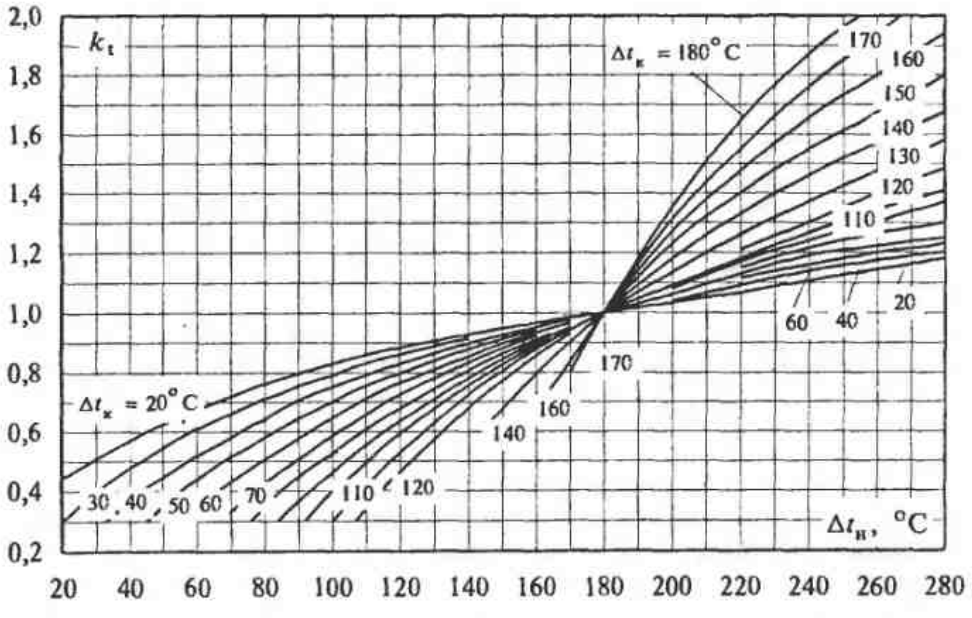
ВПРЫСКИВАЮЩЕГО ПАРООХЛАДИТЕЛЯ

Номограмма 42





1- струйная форсунка
2- труба Вентури



ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
35	Формула (6-06б)	$H_л = F_{пл.свб}x + F_{пл.ш}xZ_ш + F_{пл.пр}xZ_{пр}$	$H_л = F_{пл.свб}x_{свб} + F_{пл.ш}x_ш Z_ш + F_{пл.пр}x_{пр}Z_{пр}$
43	Формула (6-36)	$B\tilde{u}^{0,3}$	$B\tilde{u}^{0,5}$
87	24 и 26 сверху	элемента	пакета
93	2 сверху	кДж/кг	Дж/кг
118	Формула (II-1)	$\Delta t_р = \frac{200S'_{пр}}{1{,}25a_{ун}A'_{пр}}$, °С	$\Delta t_р = \frac{200\sqrt[3]{S'_{пр}}}{1{,}25^{a_{ун}}A'_{пр}}$, °С
126	Формула (III-5)	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$, Вт/(м² К)	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}\frac{d_2}{d_1} + \frac{d_2}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$, Вт/(м² К)
127	Формула (III-7)	$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$, Вт/(м² К)	$k = \frac{\xi}{\frac{1}{\alpha_1}\frac{d_{ср}}{d_1} + \frac{d_{ср}}{2\lambda_м}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2}\frac{d_{ср}}{d_2}}$, Вт/(м² К)
129	Табл. I приведенные значения	%кг/МДж	%кг/Мкал
218	Ном. 5	$k = k_н C_т a$	$k = k_н C_т (1 - a)$
241	Ном. 21 3 снизу	на рис.7.16	на рис.7.18

Стр.
35
43
87
93
118
126
127
129
218
241

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОТЛОВ
(НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД)

Технический редактор Г. М. Каган
Компьютерный набор: О. В. Анисимова, А. И. Чупракова, В. И. Золотухин
Компьютерная верстка: А. И. Чупракова, В. И. Золотухин, А. Н. Гуляев

Цена - 2400 рублей