Библиотека СОК

VIESMANN

climate of innovation

Руководство по проектированию

паровых котельных установок



Содержание

7 Предисловие

9 Введение

11 A. Использование пара

12 История получения водяного пара

15 B. Что такое водяной пар?

16 Влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар

18 B.1.2. Теплосодержание
19 B.1.3. Области применения

21 C. Оборудование, входящее в состав паровой котельной установки

24 Паровые котлы

26 C.1. Паровые котлы
32 C.1.1. Оснащение котла
38 C.1.2. Многокотловая установка
41 C.1.3. Паровые котлы в режиме «горячего резерва»
42 C.1.4. Котлы-утилизаторы

44 Экономайзер

46 Пароперегреватель

48 Горелочное устройство

49 C.4.1. Воздух для горения
49 C.4.2. Жидкое топливо
50 C.4.3. Газообразное топливо
51 C.4.4. Двухтопливные горелки
52 C.4.5. Сжигание древесины

54 Водоподготовка

58 C.5.1. Химическая водоподготовка
59 C.5.2. Опреснение воды обратным осмосом
60 C.5.3. Термическая водоподготовка

64 Конденсатное хозяйство

65 C.6.1. Конденсат низкого давления
65 C.6.2. Конденсат высокого давления
66 C.6.3. Подготовка конденсата
67 C.6.4. Охладитель проб
69 C.6.5. Дозировка корректирующих химических реагентов

70 Насосы

71 C.7.1. Регулирование с помощью питательных насосов
73 C.7.2. Конденсатные насосы

74 Термические агрегаты (в зависимости от системы)

75 C.8.1. Охладитель стоков
75 C.8.2. Сепаратор непрерывной продувки и охладитель непрерывной продувки
75 C.8.3. Охладитель выпара
76 C.8.4. Охладитель питательной воды
76 C.8.5. Нагрев питательной воды

78 Система трубопроводов

80 Система отвода продуктов сгорания

82 Собственные потребности паровой котельной установки

83 C.11.1. Собственная потребность паровой котельной установки в электрической энергии
83 C.11.2. Собственная потребность паровой котельной установки в тепловой энергии

84 Изоляция трубопроводов, емкостей и т. п.

85 C.12.1. Тепловая изоляция
85 C.12.2. Защита от образования конденсата

86 Устройства управления

87 C.13.1. Основные функции

88 Законодательная база

88 C.14.1. Законодательные акты

93 D. Расчет элементов паровой котельной установки

96 Выбор парового котла

96 D.1. Выбор парового котла
98 D.1.2. Выбор ступени давления в котле
99 D.1.3. Котлы-утилизаторы

102 Программа продуктов

103 D.2.1. Паровые котлы
104 D.2.2. Контроль температуры в жаровой трубе
105 D.2.3. Экономайзер
106 D.2.3.1. Тепловая мощность экономайзера
108 D.2.3.2. Амортизация экономайзера
110 D.2.3.3. Использование теплоты сгорания
113 D.2.3.4. Пароперегреватель
116 D.2.3.5. Поддержание давления / поддержание парового котла в нагретом состоянии

118 Горелочное устройство

119 D.3.1. Регулирование частоты – вентилятор приточного воздуха
120 D.3.2. Регулирование содержания O_2
121 D.3.3. Количество топлива / потребность в топливе
122 D.3.4. Воздух для горения / подача приточного воздуха
125 D.3.5. Уровень шума моноблочных / двухблочных горелок
126 D.3.6. Определение требуемого расхода древесного топлива (биомасса)

128 Водоподготовка

129 D.4.1. Установка полной деаэрации
130 D.4.2. Установка частичной деаэрации
132 D.4.3. Установка химической водоподготовки (установка уменьшения жесткости воды)
136 D.4.4. Установка обратного осмоса
139 D.4.5. Химический анализ воды / общие положения

142 Конденсатное хозяйство

143 D.5.1. Описание функций «открытых» конденсатных систем
144 D.5.2. Описание функций «закрытых» конденсатных систем

150 Насосы

151 D.6.1. Питательные насосы – критерии подбора и эксплуатации
160 D.6.2. Конденсатные насосы – критерии подбора и эксплуатации

162 Расчет термических агрегатов

163 D.7.1. Охладитель стоков
168 D.7.2. Сепаратор непрерывной продувки
171 D.7.3. Охладитель выпара
174 D.7.4. Охладитель питательной воды
180 D.7.5. Охладитель проб

182 Системы трубопроводов

183 D.8.1. Системы трубопроводов
188 D.8.2. Спецификации – материалы, сварочные работы
196 D.8.3. Расчет систем трубопроводов
210 D.8.4. Прочность – растяжение – расчетные пролеты – расстояния – укладка трубопроводов / опоры
219 D.8.5. Рекомендации по проектированию систем трубопроводов
219 D.8.5.1. Паропроводы / распределительные гребенки
224 D.8.5.2. Конденсатные трубопроводы и системы
226 D.8.5.3. Трубопроводы щелочного раствора котла и продувочной массы
227 D.8.5.4. Питательная вода – умягченная вода – питьевая вода
229 D.8.5.5. Трубопроводы выпара, трубопроводы отработанного пара, продувочные трубопроводы
232 D.8.5.6. Топливные трубопроводы
233 D.8.5.7 Отвод сточных вод и внутрипольный отвод сточных вод

236 Система отвода продуктов сгорания

237 D.9.1. Рекомендации по проектированию и расчету соединительных элементов
239 D.9.2. Расчет параметров системы отвода продуктов сгорания
240 D.9.3. Подключение к дымовой трубе / исполнение дымовой трубы
242 D.9.4. Общая система отвода продуктов сгорания, объединение потоков дымовых газов

244 Собственные потребности паровой котельной установки

244 D.10.1. Собственная потребность паровой котельной установки в электрической энергии
248 D.10.2. Собственная потребность паровой котельной установки в тепловой энергии

253 E. Требования и предписания

254 Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

254 E.1.1. Процедура получения разрешения согласно §13 «Постановления о безопасности» (§13 Betriebssicherheitsverordnung / BetrSichV)

265 E.1.2. Процедура получения разрешения в Германии (обзор)
268 E.1.3. Прилагаемый к заявлению пакет документов (обзор)
271 E.1.4. Состав пакета документов

272 Основные требования к установке паровых котлов

273 E.2.1. Установка стационарных паровых котлов категории IV
273 E.2.2. Установка стационарных паровых котлов категории III (TRD 802)
274 E.2.3. Помещение паровой котельной установки
277 E.2.4. Шумы
278 E.2.5. Транспортировка
279 E.2.6. Обеспечение сейсмоустойчивости установки

283 F. Эксплуатация

284 Режимы эксплуатации

284 F.1.1. Режимы эксплуатации
286 F.1.2. Законодательная база
287 F.1.3. Сроки проведения осмотров согласно DGRL

293 G. Приложение Технические данные и таблицы

294 [A. 1] Принципиальная схема паровой котельной установки. Дополнительные схемы находятся на внутренней стороне обложки
296 [A. 2.1] Тепловая изоляция трубопроводов
297 [A. 2.2] Тепловая изоляция для защиты от ожога
298 [A. 3] Инструкция по проектированию водоподготовки (фрагмент)
302 [A. 4] Схема паровой блочной модульной котельной
304 [Табл. 1.0] Единицы измерения системы СИ / пересчет значений некоторых механических и тепловых величин
305 [Табл. 1.1] Таблица пересчета ккал/час- кВт- т/ч
306 [Табл. 2.0] Параметры насыщенного водяного пара по давлениям
309 [Табл. 2.1] Параметры перегретого водяного пара
313 [Табл. 2.2] Параметры насыщенного водяного пара по температурам
314 [Табл. 3.0] Внутренняя шероховатость труб
315 [Табл. 3.1] Коэффициент трения в трубе / число Рейнольдса
316 [Табл. 4.0] Падение давления в паропроводах
317 [Табл. 4.1] Падение давления в паропроводах (пример)
318 [Табл. 6] Пар вторичного вскипания при сепарировании
319 [Табл. 7] Поперечное сечение трубопровода при заданных параметрах пара (пример)
320 [Табл. 8] Гидродинамическое сопротивление (пример)
321 [Табл. 9] Скорость потока (ориентировочные значения)
322 [Табл. 10] Опросный лист для проверки состояния парового котла
323 Список литературы

326 Алфавитный указатель

336 Выходные данные

Предисловие



Сокращение запасов таких ресурсов, как природный газ и жидкое топливо, а также растущее энергопотребление и стремительный рост цен являются отличительной чертой энергетической отрасли во всем мире. Увеличение выбросов CO_2 ведет к повышению температуры атмосферы и, как следствие, к неблагоприятному изменению климата, что в свою очередь делает вопрос бережливого использования энергетических ресурсов, повышения эффективности оборудования и активного применения регенеративной энергии как никогда актуальным.

Путем применения инновационного и эффективного оборудования промышленный сектор, как крупный потребитель энергии, может внести существенный вклад в снижение объемов энергопотребления, а также сокращение выбросов CO_2 в атмосферу. Компания VIESSMANN предлагает комплексные решения для систем теплоснабжения с использованием всех видов топлива, которые позволяют при стабильном тепло- и пароснабжении свести к минимуму потребление энергоресурсов и, благодаря снижению уровня выбросов CO_2 в атмосферу, влияние на окружающую среду.

Идет ли речь о паровых котлах с интегрированным экономайзером и подключенным конденсационным теплообменником для работы на жидком топливе или газе, или о котлах для сжигания древесины (биомассы) для производства технологического пара, компания VIESSMANN всегда готова предложить оптимальное решение. Комплектация систем теплоснабжения предусматривает точное согласование между собой отдельных компонентов для достижения максимальной эффективности и оптимизации затрат, в основе чего должно лежать правильное проектирование.

Уделяя внимание проектированию и производству высокоэффективных паровых котлов на протяжении нескольких десятилетий, компания VIESSMANN накопила богатый опыт, которым хотела бы поделиться с Вами посредством данного руководства. При выборе тематики, а также при описании паровых котлов и отдельных компонентов паровых котельных основное внимание уделялось их проектной и эксплуатационной надежности, поскольку правильное проектирование и качественное исполнение являются залогом не только безупречной и эффективной работы паровой котельной установки, но и безопасности человека и окружающей среды.

Я глубоко убежден, что данное руководство по проектированию окажет качественную и своевременную поддержку всем тем, кто занимается проектированием промышленных паровых котельных установок.

Проф. Д-р Мартин Виссманн





Производство котлов Vitomax
Германия, Миттенвальде.

Введение

Данное руководство по проектированию служит дополнением к таким публикациям, как «Fachreihe Dampf» и «Vertriebsordner Industrieanlagen Dampf» и содержит описание и расчеты основных параметров для подбора компонентов паровых котельных установок паропроизводительностью до 75 т/ч, работающих на жидком, газообразном и твердом топливе (древесина, биомасса), а также использующих котлы-утилизаторы.

Поэтому данное руководство следует рассматривать как справочник для комплексного проектирования паровых котельных на основе техники Viessmann. Совместно с перечисленными выше тематическими брошюрами данное руководство может быть полезно в качестве справочного пособия также монтажникам котельного оборудования, проектировщикам и инженерам по эксплуатации.

Невзирая на основательную проверку текста, мы не в состоянии полностью гарантировать отсутствие возможных смысловых ошибок или опечаток. Поэтому компания VIESSMANN оставляет за собой право на неточности и не претендует на однозначность изложенных в данной публикации положений. В связи с этим компания VIESSMANN не несет какой-либо ответственности за возможный материальный ущерб или вред физическим лицам, возникший вследствие практического применения положений данного руководства.


VIESMANN
VITOMAX 200

A. Использование пара

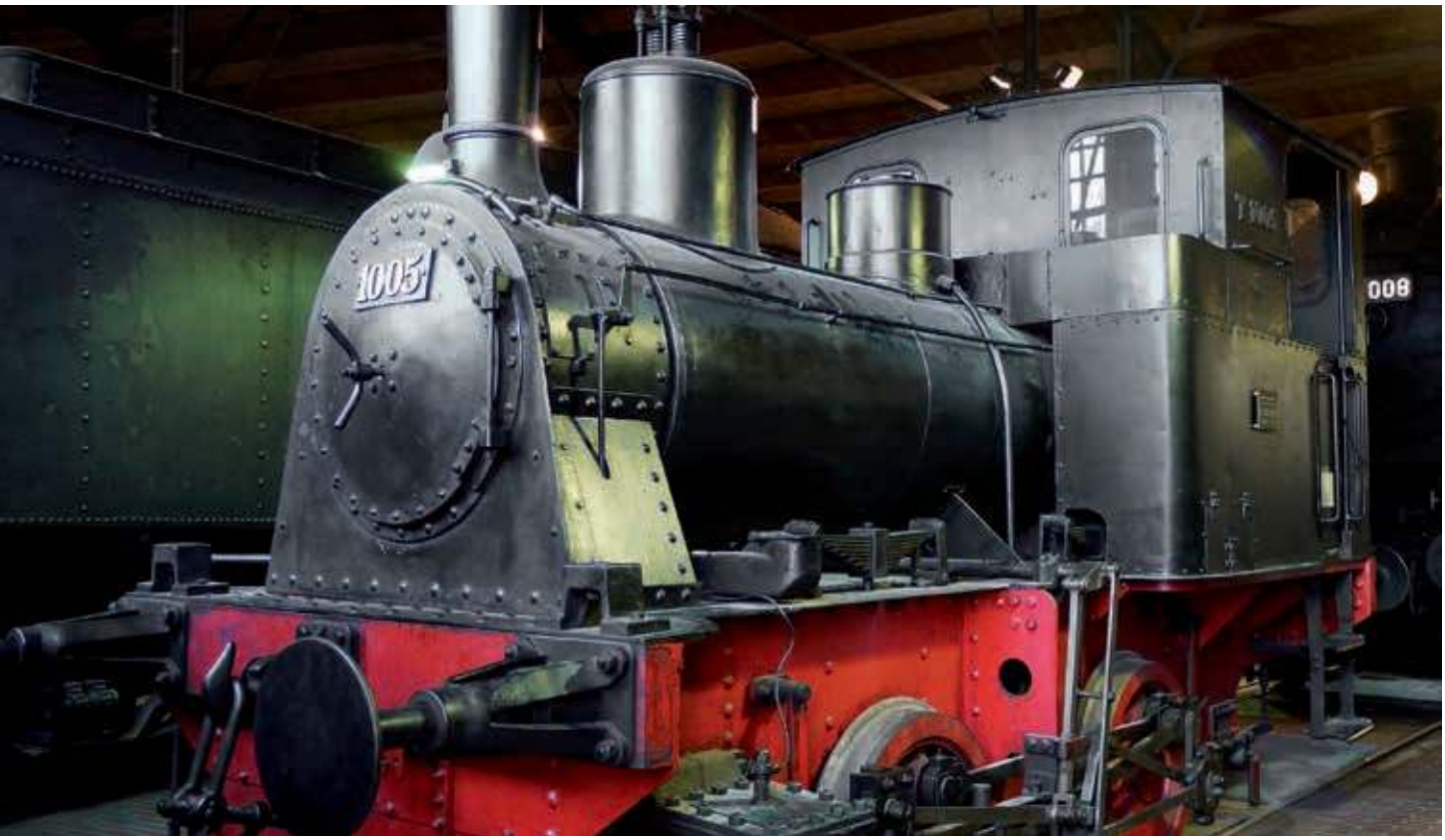
Целью данного руководства является изложение основ технологии получения водяного пара в паровых котлах, а также описание компонентов паровых котельных установок.

Поскольку свойства пара существенно отличаются от свойств воды – традиционного для отопительной техники теплоносителя – следует оговорить некоторые основные вопросы, относящиеся к термину «пар» и технологии получения пара, прежде чем будут описаны отдельные компоненты паровых котельных установок и представлена информация по проектированию, монтажу и эксплуатации.

Данное руководство посвящено исключительно технологии получения пара и не касается вопросов, связанных с водогрейными котлами. Оно ограничивается получением пара в стационарных паровых котлах и не рассматривает особенности «мобильных» парогенераторов (применяемых, например, на судах).

Приведенные нормы и правила относятся к европейскому законодательству. Встречаются положения со ссылкой на инструкции и правила, действующие исключительно на территории Германии, которые не могут быть применены в других странах без соответствующих поправок.

12 История получения водяного пара



История получения водяного пара

Водяной пар известен человечеству со времен открытия огня. Он образуется при тушении огня водой и при приготовлении пищи.

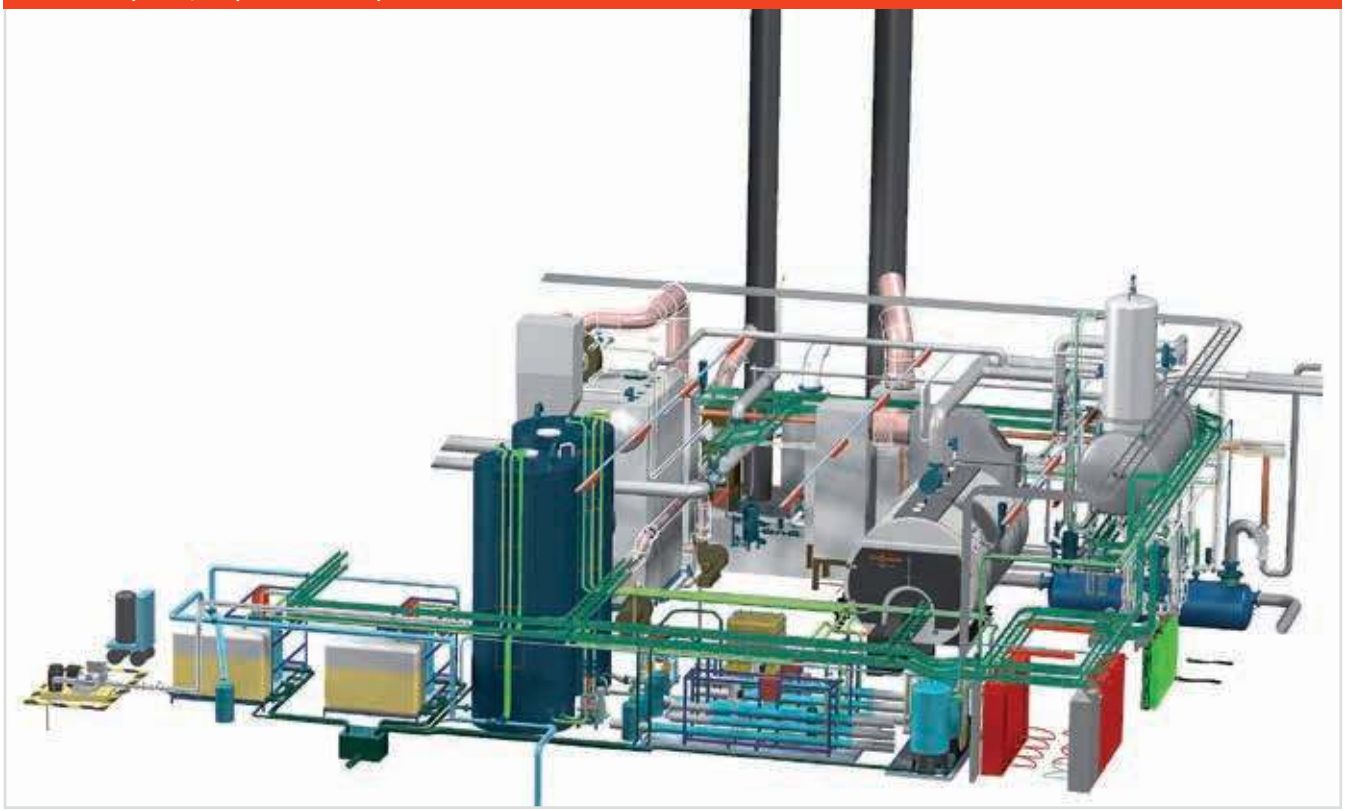
Первые идеи технического использования водяного пара принадлежат Архимеду (287 – 212 до н. э.), который сконструировал паровую пушку.

Леонардо да Винчи (1452 – 1519 гг.) выполнил расчеты, согласно которым при помощи паровой пушки ядро весом 8 кг может пролететь дистанцию около 1250 метров.

Изготовление первой скороварки (ок. 1680 г.) принадлежит Денису Папину. Этот сосуд под давлением был оснащен предохранительным клапаном (после того, как его прототип взорвался при первых же испытаниях).

Опыт использования паровых машин с 1770 года указал на необходимость теоретического и практического изучения водяного пара как рабочего тела.

Рис. A.1-1: Визуализация паровой котельной установки



Великие ученые Джеймс Уатт (James Watt) и Карл Густаф Патрик де Лаваль (Carl Gustav Patrik de Laval) стали состоятельными людьми благодаря продажам своих паровых машин.

B. Что такое водяной пар?



B. Что такое водяной пар?

В данном руководстве речь пойдет не о смеси воздуха и водяного пара, а исключительно о сухом насыщенном паре, который образуется в замкнутых системах (паровых котлах).

Пар образуется при переходе вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное путем испарения или сублимации[1]. С точки зрения физики водяной пар представляет собой воду в газообразном состоянии.

Со временем в процессе испарения воды устанавливается термодинамическое равновесие, при котором количество частиц жидкости или твердого тела, переходящих в газообразное состояние, совпадает с количеством частиц, возвращающихся из газообразного в прежнее состояние. Это означает, что пар становится насыщенным.

Количество частиц, переходящих из одного состояния в другое, зависит от давления и температуры рассматриваемой системы.

Примечание

В данном руководстве под давлением по умолчанию подразумевается избыточное давление, если не указано другое.

16 Влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар

18 B.1.2. Теплосодержание

19 B.1.3. Области применения

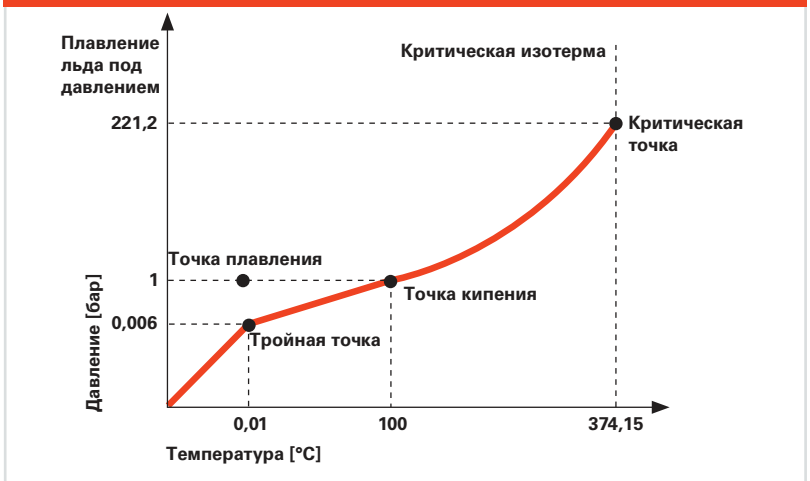
[1] Сублимация: непосредственный переход вещества из твердого агрегатного состояния в газообразное, минуя жидкое состояние.



Влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар

Вода испаряется при постоянном давлении и подводе теплоты. И наоборот, пар конденсируется на более холодной поверхности в виде мельчайших капель.

Рис. B.1–1: Диаграмма агрегатного состояния / фазовая диаграмма

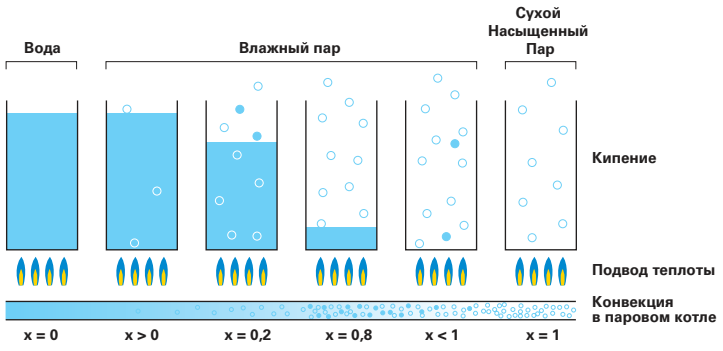


Плотность ρ при 100 °C и 1,01325 бара: 0,598 кг/м³; удельная теплоемкость: c_p = 2,08 кДж/(кг·K); теплопроводность: > 0,0248 Вт/м·K; тройная точка: 0,01 °C ≙ 273,165 K при 0,00612 бара; критическая точка: 374,15 °C при 221,2 бара.

Таким образом, водяной пар представляет собой смесь мельчайших капель воды с водой в газообразном состоянии. Эта смесь называется «влажный насыщенный пар» (Рис. B.1.1-1 и B.1.1-2)

Выше критической точки исчезают различия между плотностью водяного пара и плотностью жидкости, поэтому данное состояние носит название «сверхкритического». С точки зрения широкого практического применения, оно не представляет интереса.

Рис. B.1.1–1: Диаграмма агрегатного состояния / фазовая диаграмма



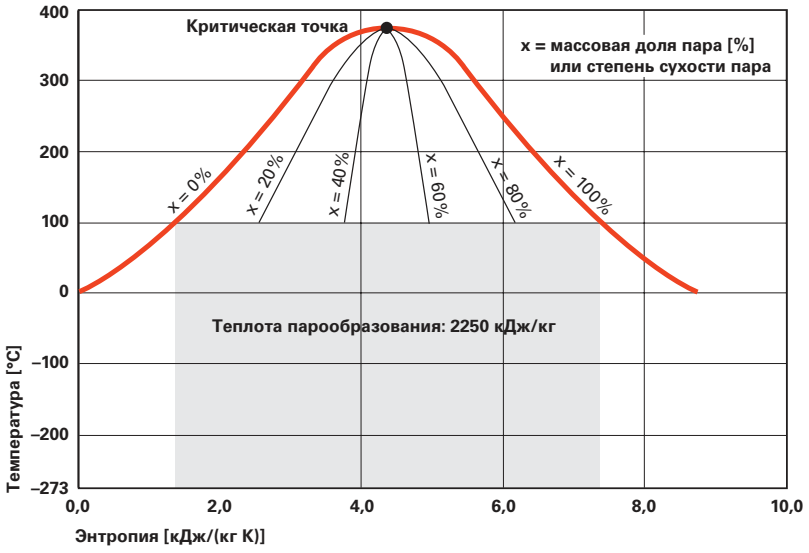
X – степень сухости пара
(Например X = 0,8 означает: 80% воды в виде пара)

Влажный насыщенный пар, перегретый пар, сухой насыщенный пар.

Вода со сверхкритическими параметрами, с химической точки зрения, обладает особенно агрессивными свойствами. Ниже критической точки водяной пар называется, соответственно, «докритическим». При этом он находится в состоянии равновесия с жидкой фазой. Если в данном состоянии после полного испарения жидкости он будет подвергнут дальнейшему нагреву выше температуры насыщения (кипения), то будет получен так называемый «перегретый пар». Эта форма водяного пара больше не содержит в себе капель воды и представляет собой прозрачный газ, невидимый глазу.

Состояние между влажным насыщенным паром, с одной стороны, и перегретым паром, с другой стороны, называется «сухим насыщенным паром». Именно к этому состоянию относится большинство табличных значений для водяного пара (см. раздел G.2 Табл. 2).

B.1.1-2: T-s-диаграмма



Изменение состояния воды при 100 °C и давлении 1 бар.

На T-s-диаграмме показана область влажного пара до критической точки при 374 °C и 221,2 бара.

Рис. B.1.2–1: Скороварка



B.1.2. Теплосодержание

Преимущество пара как теплоносителя заключается в том, что он обладает значительно большим теплосодержанием (энтальпией) по сравнению с водой. При равной массе и температуре содержащееся в паре количество теплоты в 6 раз превосходит соответствующий показатель для воды.

Это обусловлено тем, что для испарения воды требуются намного большие затраты энергии, которая затем сохраняется в полученном паре и высвобождается при конденсации. Это явление наблюдается, например при кипении воды (рис. B1.2-1).

Чтобы испарить содержимое емкости требуется подвод теплоты в течение довольно длительного промежутка времени. Подведенная за это время теплота используется исключительно на парообразование. Температура воды и пара остается неизменной (100 °C при нормальном давлении) (см. рис. B.1.2.-2). При этом становится очевидным одно существенное преимущество пара как теплоносителя: для передачи одинакового количества теплоты пару требуется задействовать всего лишь одну шестую часть массы по сравнению с водой (см. B.1.2.-3).

Рис. B.1.2–2: Парообразование

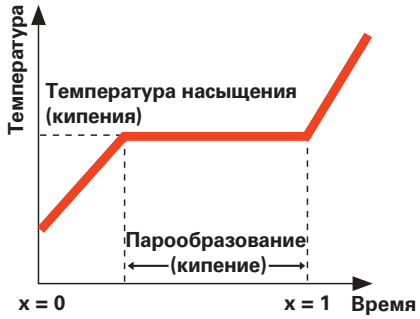


Рис. B.1.2–3: Теплосодержание (энтальпия)

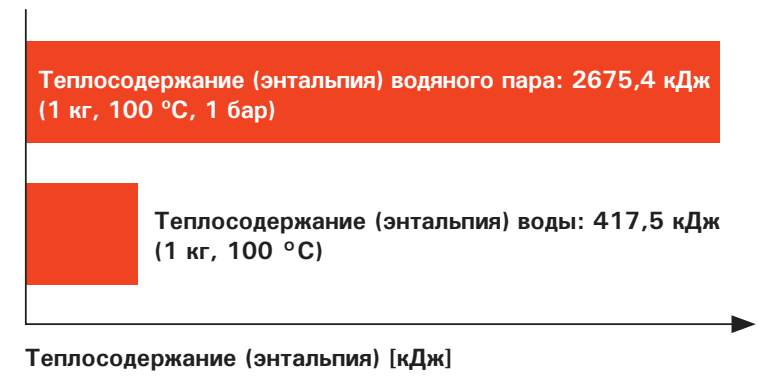


Рис. B.1.3–1: Паровая котельная установка



Словения / Novo Mesto,
Фармацевтическое производство.

B.1.3. Области применения

Водяной пар используется во многих сферах промышленного производства в качестве теплоносителя а также в некоторых химических процессах.
Типичными областями применения пара наряду с другими являются бумажная, строительная, нефтеперерабатывающая и фармацевтическая промышленность.
Водяной пар также широко применяется при промышленной переработке продуктов питания. Пар приводит в действие турбины для выработки электричества, а также применяется при вулканизации изделий из резины и стерилизации упаковки.

Получение водяного пара для промышленных нужд и его использование существенно отличается от выработки теплоты в отопительной технике, где в качестве теплоносителя используется вода.

Для получения пара высокого давления в широком диапазоне мощностей требуется специальное оборудование.

Области применения пара, полученного в стационарных котельных установках:

- паровые турбины;
- паровое отопление;
- химические процессы;
- пищевая промышленность (производство соков, пива, макаронных изделий, сыра, молочной продукции, хлебобулочных изделий);
- процесс стерилизации;
- производство удобрений;
- вулканизация резины;
- фармацевтическая промышленность;
- производство строительных материалов;
- целлюлозно-бумажная промышленность;
- нефтепереработка (крекинг сырой нефти);
- обработка древесины;
- получение вакуума путем вытеснения воздуха и последующей конденсации.



StoVerotec, Германия,
Vitomax 200-HS 4 т/ч 16 бар.

C. Оборудование, входящее в состав паровой котельной установки

Для генерирования пара, кроме парового котла, требуется различное оборудование для подготовки питательной воды и утилизации теплоты, а также насосы, горелки и арматура.

В отличие от водогрейных котлов в паровых котлах используется «свежая» питательная вода. Для того чтобы содержащиеся в воде примеси (например: кальций, магний, кислород и двуокись углерода) с течением времени не разрушили паровой котел (отложения накипи или точечная коррозия), следует предпринять соответствующие меры по устранению из питательной воды вредных для парового котла примесей. Кроме прочего оборудования, для работы парового котла также требуются горелки, арматура и насосы. Все эти компоненты и образуют паровую котельную установку.

Основное оборудование, входящее в состав паровой котельной установки, будет описано в следующей главе.

21 C. Оборудование, входящее в состав паровой котельной установки

24 Паровые котлы

26 C.1. Паровые котлы
32 C.1.1. Оснащение котла
38 C.1.2. Многокотловая установка
41 C.1.3. Паровые котлы в режиме "горячего резерва"
42 C.1.4. Котлы-утилизаторы

44 Экономайзер

46 Пароперегреватель

48 Горелочное устройство

49 C.4.1. Воздух для горения
49 C.4.2. Жидкое топливо
50 C.4.3. Газообразное топливо
51 C.4.4. Двухтопливные горелки
52 C.4.5. Сжигание древесины

54 Водоподготовка

58 C.5.1. Химическая водоподготовка
59 C.5.2. Установки обратного осмоса
60 C.5.3. Термическая водоподготовка

64 Конденсатное хозяйство

65 C.6.1. Конденсат низкого давления
65 C.6.2. Конденсат высокого давления
66 C.6.3. Подготовка конденсата
67 C.6.4. Охладитель проб
69 C.6.5. Дозировка корректирующих химических реагентов

70 Насосы

71 C.7.1. Регулирование с помощью питательных насосов
73 C.7.2. Конденсатные насосы

74 Термические агрегаты (в зависимости от системы)

75 C.8.1. Охладитель стоков
75 C.8.2. Сепаратор непрерывной продувки и охладитель непрерывной продувки
75 C.8.3. Охладитель выпара
76 C.8.4. Охладитель питательной воды
76 C.8.5. Нагрев питательной воды

78 Система трубопроводов

80 Система отвода продуктов сгорания

82 Собственные потребности паровой котельной установки

83 C.11.1. Собственная потребность паровой котельной установки в электрической энергии
83 C.11.2. Собственная потребность паровой котельной установки в тепловой энергии

84 Изоляция трубопроводов, емкостей и т. п.

85 C.12.1. Теплоизоляция
85 C.12.2. Защита от образования конденсата

86 Устройства управления

87 C.13.1. Основные функции

88 Законодательная база

88 C.14.1. Законодательные акты



Vitomax 200-HS 3,8 т/ч 13 бар в Бельгии.

Паровые котлы

Существуют различные виды паровых котлов: от «паровых котлов», применявшихся для работы паровых локомотивов, и до промышленных стационарных паровых котельных установок, а также парогенераторов электростанций.

Компания VIESSMANN производит котлы для производства насыщенного и перегретого пара низкого и высокого давления до 30 бар, описание которых будет представлено ниже.



Три котла Vitomax 200-HS
тип M235.

Рис. C.1–1: Теплосодержание (энтальпия) водяного пара

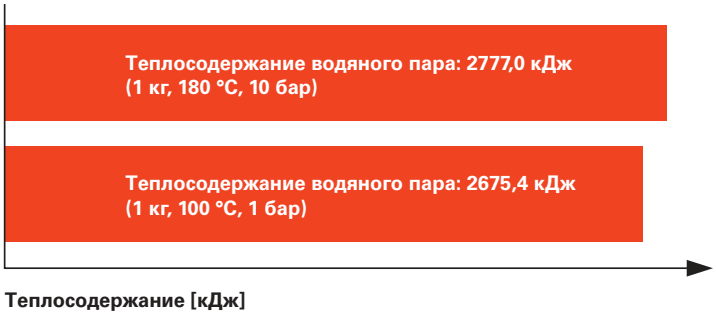
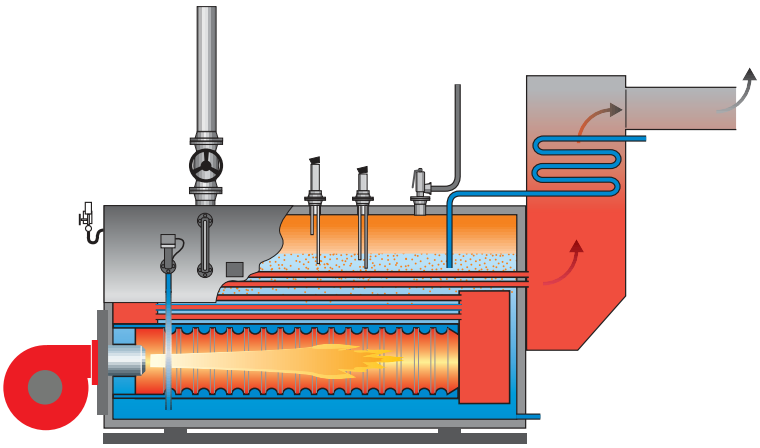


Рис. C.1–2: Паровой котел в разрезе



Принцип работы жаротрубных котлов.

C.1. Паровые котлы

Паровой котел представляет собой закрытый сосуд, предназначенный для производства пара с давлением выше атмосферного. Подвод теплоты к теплоносителю, находящемуся в замкнутом объеме, приводит к увеличению его давления и температуры насыщения. При этом теплосодержание (энтальпия) пара увеличивается (см. рис. C.1-1).

Котлы классифицируют в зависимости от их конструкции, а также в зависимости от типа горелочного устройства и вида топлива.

Наряду с конструктивными особенностями паровые котлы различают в зависимости от их паропроизводительности и значения максимально допустимого рабочего давления.

В зависимости от конструкции паровые котлы большой производительности для получения пара высокого давления разделяют на два основных типа:

- водотрубные котлы;
- жаротрубные котлы (котлы с большим объемом котловой воды).

В водотрубных котлах вода находится в трубах, которые омываются горячими дымовыми газами. Такое исполнение встречается в прямоточных парогенераторах с давлением до 30 бар или в водотрубных котлах с давлением до 200 бар. Такое давление принципиально не может обеспечиваться в жаротрубных котлах, где дымовые газы проходят по трубам, которые омываются водой (см. рис. C.1-2).

В зависимости от типоразмера жаротрубные котлы генерируют пар с допустимым рабочим давлением до 25 бар и обеспечивают паропроизводительность, например, до 26 т/ч.

Существуют более мощные котлы аналогичной конструкции с двумя камерами сгорания (жаровыми трубами) паропроизводительностью до 50 т/ч. Они состоят из двух камер сгорания с раздельными трактами дымовых газов и соответственно двумя горелками.

Жаротрубные котлы позволяют решить большинство задач пароснабжения технологических процессов в промышленности, обеспечивая необходимую производительность и давление пара. В эксплуатации жаротрубные котлы надежны и экономичны.

Данная конструкция котла также используется для получения пара низкого давления (до 0,5 бара).
В Германии более 50% эксплуатируемых паровых котлов высокого давления – это трехходовые жаротрубные котлы. К ним же относится паровой котел высокого давления Vitomax 200-HS (рис. C.1-3 и C.1-4).

Трехходовая конструкция котла позволяет достичь экономичного сжигания топлива, не наносящего вред окружающей среде. Продукты сгорания проходят к задней части камеры сгорания, где попадают в водоохлаждаемую поворотную камеру, откуда направляются в дымогарные трубы второго хода. Затем из следующей по ходу фронтальной поворотной камеры, находящейся за передней дверцей котла, дымовые газы направляются в дымогарные трубы третьего хода.
Дымогарные трубы второго и третьего хода представляют собой конвективные поверхности нагрева.

Поскольку дымовые газы покидают камеру сгорания в ее задней части и горячие дымовые газы не возвращаются к ядру пламени (как это происходит, например, у котлов с реверсивной камерой сгорания, где продукты сгорания охватывают факел), пламя имеет возможность отдать больше теплоты и таким образом лучше охладиться. Это обстоятельство, а также более короткое время пребывания дымовых газов в зоне реакции позволяет снизить количество образующихся оксидов азота.

Конструкция жаротрубных котлов отличается как значительным водяным объемом, так и значительным паровым объемом, и, как следствие, высокой теплоаккумулирующей способностью. При этом паровой котел обеспечивает стабильное пароснабжение даже при значительных кратковременных колебаниях нагрузки.

Рис. C.1–3: Паровой котел Vitomax 200-HS



Паровой котел высокого давления Vitomax 200-HS для сжигания жидкого и газообразного топлива.
Паропроизводительность: от 0,5 до 4 т/ч.

Рис. C.1–4: Паровой котел Vitomax 200-HS с интегрированным экономайзером



Паровой котел высокого давления Vitomax 200-HS для сжигания жидкого и газообразного топлива с интегрированным экономайзером.
Паропроизводительность: от 5 до 26 т/ч.

Большая площадь поверхности парообразования в сочетании с оптимальной конструкций парового пространства и встроенным капельным сепаратором делают возможным получение сухого насыщенного пара.
Трехходовая конструкция, благодаря которой происходит эффективная теплопередача, позволяет достигнуть высокой паропроизводительности при незначительном периоде нагрева.
Теплопередача в пределах трех ходов распределяется следующим образом:
1-й ход / камера сгорания и поворотная камера – около 35%,
2-й и 3-й ход / дымогарные трубы – около 65%.

Максимальная мощность паровых котлов определяется европейскими нормами EN 12953, которые являются обязательными для производителей котельного оборудования.

Рис. C.1–5: Паровой котел Vitomax 200-HS



Sanovel / Стамбул.

Жаротрубные котлы с одной камерой сгорания при сжигании газа могут достигать паропроизводительности до 26 т/ч, а при сжигании жидкого топлива – до 19 т/ч.

Максимально допустимое рабочее давление в зависимости от паропроизводительности может достигать 30 бар.

Котлы Vitomax 200-HS отличаются следующими конструктивными особенностями:

- большое паровое пространство с низким напряжением парового объема и интегрированным капельным сепаратором обеспечивает высокое качество пара;
- большие компенсационные расстояния между поверхностями нагрева. Расстояния между дымогарными трубами, между дымогарными трубами и обечайкой котла, а также между дымогарными трубами и жаровой трубой камеры сгорания существенно превышают требуемые нормативные величины, благодаря чему влияние механических напряжений на трубную доску, вызванных различным продольным тепловым расширением дымогарных труб и жаровой трубы, несущественно.
  Преимущество: продолжительная и надежная эксплуатация котла.
  Для котлов Vitomax проблема трещин угловых анкеров не наблюдается;
- охлаждаемая водой фронтальная часть камеры сгорания. Котлы серии Vitomax сконструированы таким образом, что горелки могут монтироваться без использования обмуровки (исключение: ротационная горелка), благодаря чему обеспечивается постоянная температура вокруг головки горелки, что приводит к стабильно низким показателям NOx. Обратное тепловое излучение отсутствует. Обмуровка котла, которая все еще используется в котельной технике, но не применяется в котлах Vitomax, требует четкого соблюдения определенной программы сушки, что увеличивает время ввода котла в эксплуатацию. Кроме того, это быстроизнашивающийся элемент;

- водоохлаждаемая задняя поворотная камера. Задняя поворотная камера котлов Vitomax полностью охлаждается водой. Таким образом, теплота дымовых газов используется исключительно для нагрева котловой воды. Шамотный огнеупорный материал, который все еще используется в котельной технике, но не применяется в котлах Vitomax, нагреваясь, раскаляется и влияет своим вторичным тепловым излучением на пламя и также приводит к повышенным потерям теплоты излучением. Кроме того, шамотный кирпич – это быстроизнашивающийся материал, состояние которого необходимо регулярно контролировать и при необходимости заменять;
- стодвадцатимиллиметровая тепловая изоляция котла позволяет уменьшить теплопотери излучением;
- котлы Vitomax оснащены достаточным количеством смотровых люков и лазов, для проведения внутреннего осмотра и обеспечения доступа ко всем важным элементам котла. Благодаря этому интервалы между внутренними осмотрами максимально увеличиваются (см. раздел F.1.3.2);
- если применяются угловые анкеры, то всегда попарно. Возникающие напряжения в котле существенно ниже допустимых для паровых котлов значений. Уменьшение напряжения в элементе конструкции котла гарантирует увеличение срока его службы;
- котлы серии Vitomax полностью удовлетворяют всем установленным нормативным требованиям;
- геометрия камеры сгорания отвечает самым строгим требованиям норм и правил. При этом возможно применение различных горелочных устройств;
- простота открывания фронтальных дверей и дверцы в задней части котла упрощают техническое обслуживание тракта дымовых газов и таким образом снижают эксплуатационные затраты.
- конструкция котла отличается высокой надежностью;
- компания VIESSMANN активно работает над созданием новых норм и правил, а также устанавливает новые стандарты, которые соответствуют современному уровню технического развития.

Рис. C.1–5: Паровой котел Pyroflex для сжигания древесины



Паровой котел высокого давления для сжигания древесины

Паровой котел высокого давления Pyroflex FSB производства фирмы MAWERA с рабочим давлением от 6 до 25 бар может применяться совместно с топочной камерой, оснащенной подвижной колосниковой решеткой тип Pyroflex FSB (тепловой мощностью от 1 до 2 МВт) и Pyroflex FSR (тепловой мощностью от 1 до 15,3 МВт). Топочная камера Pyroflex FSB и FSR для сжигания древесины (биомассы) будет описана в разделе C.4.5. Котел Pyroflex это двухходовой котел с экранированной топкой. Теплопередача в котле распределяется следующим образом:
1-й ход – около 80%,
2-й ход – около 20%.

Паровые котлы Pyroflex FSB/FSR отличаются следующими конструктивными особенностями:

- модульная конструкция парового котла для сжигания древесины Pyroflex FSB и Pyroflex FSR;
- котел может располагаться в произвольном месте, либо непосредственно на топочной камере;
- минимальные тепловые напряжения благодаря применению экранированной топки;
- простая геометрия элементов, работающих под давлением;
- минимальные эксплуатационные затраты благодаря двухходовой конструкции (уменьшение потерь давления со стороны дымовых газов);
- минимальные тепловые потери излучением благодаря стодвадцати-миллиметровой тепловой изоляции;
- большой объем парового пространства и большая поверхность парообразования, а также интегрированный капельный сепаратор способствуют повышению качества пара;
- устойчивое к деформациям покрытие в верхней части котла (входит в комплект поставки) упрощает техническое обслуживание и защищает тепловую изоляцию от повреждений;
- площадка для обслуживания как альтернативное исполнение;
- система пневматической очистки поверхностей нагрева для обеспечения непрерывной работы котла (опция).

В некоторых странах для мощностей котлов более 12 МВт при сжигании жидкого топлива и более 15,6 МВт при сжигании газа органы котлонадзора требуют наличия системы измерения (контроля) температуры жаровой трубы (см. табл. D.2.2-1).

Подобная система контроля может быть интегрирована в котлы серии Vitomax 200-HS. В настоящее время во всех странах Евросоюза в соответствии с национальными директивами обязательно наличие системы для измерения температуры как минимум в шести точках жаровой трубы.

С помощью системы контроля фиксируется температура стенки (допустимая температура стенки зависит от материала жаровой трубы) и в случае превышения допустимого значения цепь безопасности котла размыкается, отключая горелку.

Топливо	Тепловая мощность горелки (МВт)	
	старый стандарт	новый стандарт
Природный газ	13,65	18,20
Жидкое топливо	10,50	14,00

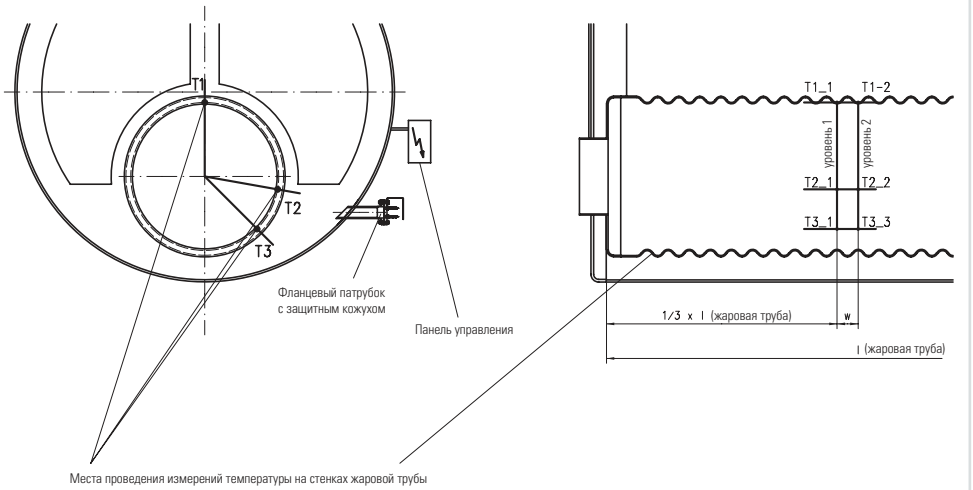
В дополнение к ограничениям по стандарту DIN EN 12953-3 в соответствии с TRD 306 П. 11 необходимо в обязательном порядке учитывать конструктивные ограничения, которые в итоге являются важным критерием для определения номинальной мощности парового котла (см. правила выбора парового котла в разделе D.2).

Для котлов большой мощности (в соответствии со стандартом DIN EN 12953-3 и в дополнение к действующим в отрасли положениям и правилам) в Германии обязателен контроль температуры в жаровой трубе.

Примечание

При применении стандарта DIN EN 12953 или TRD + действующих в отрасли положений и правил в отношении конструкции жаровой трубы (в зависимости от материала, его толщины, внутреннего диаметра и сжигаемого топлива) максимальная тепловая мощность горелки может быть на 1/3 увеличена по сравнению со «старым» TRD-стандартом и действующими в отрасли правилами 1894/1.

Рис. C.1-6: Контроль температуры жаровой трубы

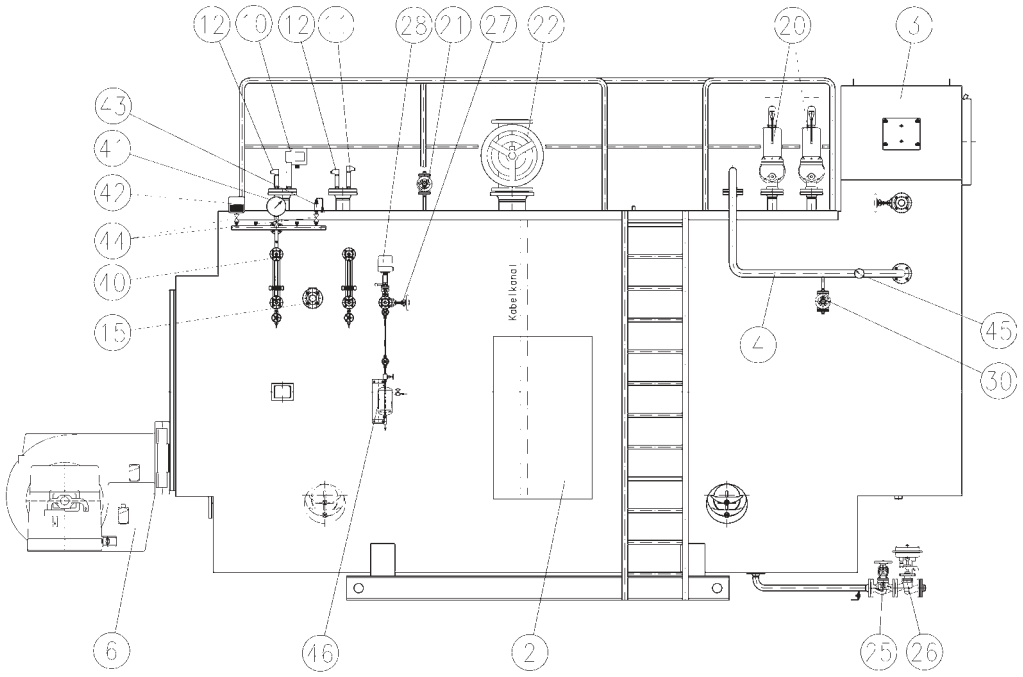


C.1.1. Оснащение котла

Паровые котлы комплектуются предохранительной и запорной арматурой, устройствами управления и безопасности, насосами питательной воды, горелочным устройством (горелкой) и щитом управления для осуществления регулирования и управления всеми процессами, происходящими в котле и горелке.

Выбор комплектующих для парового котла обусловливается режимом работы котельной установки и видом топлива.

Рис. C.1.1.1: Оснащение котла



Поз. 20 и 40: Количество (1 или 2) в зависимости от местных стандартов.

Рис. C.1.1.2: Комплект питательного насоса (в сборе)

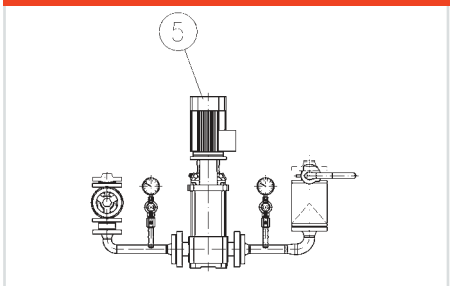
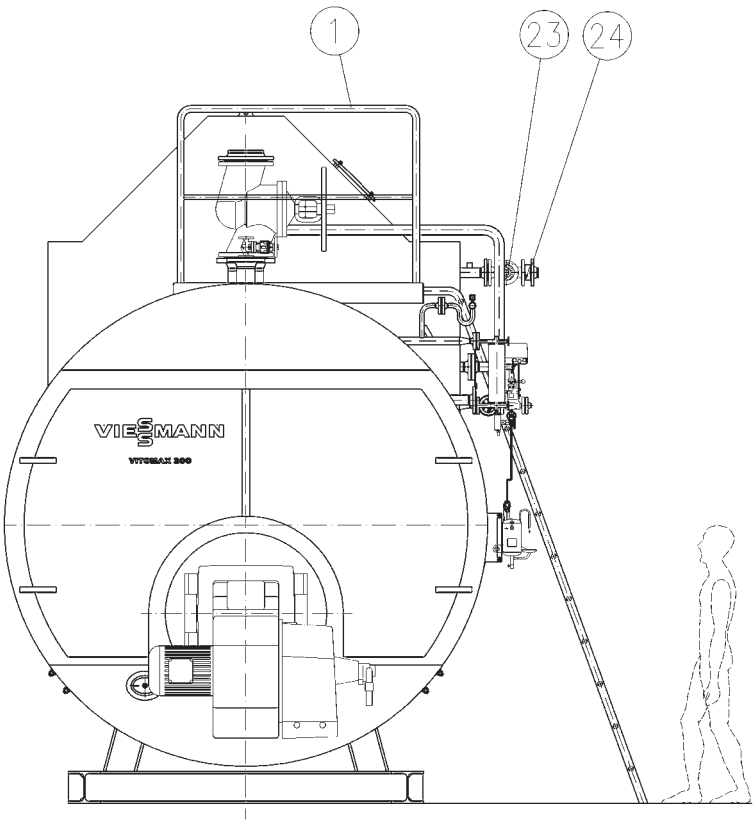


Рис. C.1.1.3: Оснащение котла



1. Площадка для обслуживания
2. Щит управления
3. Интегрированный экономайзер
4. Соединительный трубопровод питательной воды между котлом и экономайзером
5. Комплект питательного насоса (в сборе))
6. Горелка

10. Электрод рабочего уровня (например NRGT26-1)
11. Электрод максимального уровня (например NRG16-51)
12. Электрод минимального уровня (например NRG16-50)
15. Электрод электропроводимости

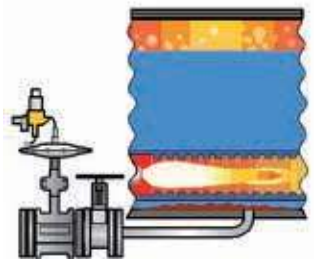
20. Предохранительный клапан
21. Запорный клапан (воздушная линия)
22. Запорный клапан (пар)
23. Запорный клапан (питательная вода)
24. Обратный клапан (питательная вода)
25. Запорный клапан (периодическая продувка)
26. Клапан периодической продувки
27. Запорный клапан (непрерывная продувка)
28. Регулирующий клапан непрерывной продувки
30. Запорный клапан для опорожнения экономайзера

40. Указатель уровня воды
41. Манометр
42. Ограничитель максимального давления
43. Датчик (регулятор) давления
44. Запорный проходной клапан с колпачком
45. Стрелочный термометр
46. Охладитель проб

Рис. C.1.1-4: Клапан периодической продувки



Рис. C.1.1-5: Автоматическая периодическая продувка



Оснащение котла осуществляется в соответствии с предписаниями TRD или нормами EN 12953 путем применения высококачественных, разрешенных стандартами, устройств. Основные требования изложены в соответствующих EN-нормах или (если таковых нет) соответствующих VDTÜV-предписаниях. Тщательный подбор этих устройств обеспечивает высокое качество и надежность работы котельной установки. Особое внимание следует уделять клапанам непрерывной и периодической продувки, которые необходимы для продолжительной и надежной эксплуатации парового котла. В процессе эксплуатации в котле образуются отложения шлама, которые необходимо периодически удалять.

Периодическая продувка (удаление шлама)

Для периодической продувки применяется специальный клапан (рис. C.1.1-4), с помощью которого путем резкого открытия удаляется шлам с днища котла. Время открытия клапана составляет порядка 2 – 5 секунд. Открытие осуществляется вручную либо для котельных без постоянного присутствия обслуживающего персонала- автоматически с помощью устройства управления периодической продувкой. Клапаны периодической продувки благодаря специальной конструкции должны обеспечивать быстрое, надежное и герметичное закрытие арматуры. Это достигается с помощью встраивания затвора в нижней части клапана. Таким образом, сила пружины и давление котла суммируются, что обеспечивает максимальную силу закрытия, которая надежно закрывает клапан, не смотря на возникающие в процессе эксплуатации котла загрязнения. Для многокотловых установок на сбросных линиях следует предусмотреть обратные клапаны (EN 12953-6, Раздел 4.6.3).

Непрерывная продувка (снижение солесодержания)

В процессе парообразования растворенные в воде соли остаются в котле, увеличивая концентрацию солей в котловой воде, особенно на поверхности воды. По этой причине электрод непрерывной продувки расположен в верхней части котла на высоте нижнего граничного уровня воды. Слишком высокая концентрация солей приводит к образованию отложений твердых частиц, что ухудшает теплопередачу и приводит к коррозии, а также к пенообразованию. При этом пена может захватываться паром, что негативно влияет на работу котельной установки.

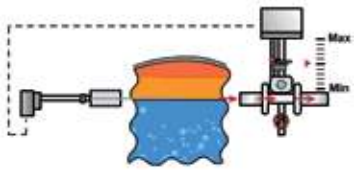
Таким образом, снижается качество пара, а вода, попадающая в паропроводы, может привести к повреждениям арматуры. Кроме этого, негативное влияние оказывается на работу регуляторов уровня воды, которые предназначены для поддержания необходимого уровня воды в котле. По этой причине нормы и правила предписывают обязательное наличие систем контроля качества котловой воды, которые при превышении максимально допустимых величин отключают котельную установку. Основные требования к качеству замеров описаны в VdTÜV «Приборы контроля качества воды 100» «Wassserüberwachungseinrichtungen 100» (сокращенно: WÜ 100) и являются основой для допуска измерительных систем к использованию. Особое внимание при этом уделяется качеству измерений, автоматической температурной компенсации и индикации измеренного значения с учетом температурной компенсации.

В качестве превентивной меры против отключения котельной установки вследствие слишком высокой электропроводимости применяются клапаны непрерывной продувки. С помощью регулятора непрерывной продувки в соответствии с заданным значением осуществляется управление клапаном непрерывной продувки и соответственно продувка котла.

Рис. C.1.1-6: Клапан непрерывной продувки



Рис. C.1.1-7: Автоматическая непрерывная продувка



С целью упрощения изображения клапаны расположены на противоположных сторонах котла. В действительности же они располагаются рядом друг с другом с одной стороны котла.

Регулятор уровня компенсирует потерю воды, чем снижает электропроводимость котловой воды. Для клапанов непрерывной продувки также используются специально сконструированная арматура. Благодаря многоступенчатому снижению давления в клапане, продувка котла происходит при полном редуцировании перепада давления (котел/линия продувки), а также обеспечивается малошумная работа и минимальный износ клапана.

Благодаря вмонтированному в котел электроду системы непрерывной продувки постоянно измеряется значение проводимости воды и при отклонении от заданного значения происходит изменение степени открытия/закрытия продувочного клапана (см. Рис. C.1.1-6, C.1.1-7).

Примечание

Для ограничителей уровня воды следует применять устройства «специальной конструкции», которые имеют встроенные функции самоконтроля состояния механических частей или электрических цепей. При выявлении внутренних ошибок в процессе самоконтроля подвод теплоты в котле должен быть автоматически прекращен, а ограничители уровня воды должны подвергнуться проверке.

Устройства безопасности должны удовлетворять требованиям стандарта EN 12953-9 и дополнительно (согласно положениям EN 12953-6, Раздел 4.3.2) для каждой функции безопасности необходимо проводить анализ потенциально опасных ситуаций для обеспечения степени защиты и уровня функциональной безопасности. Примечание: Стандартный уровень безопасности (SIL- Sicherheits-Integritätslevel) систем защиты котла должен быть не менее чем 2.

Функции электродов уровня

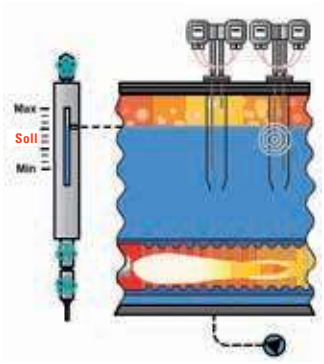
Рассмотрим особенности оснащения котла электродами уровня на примере котла для режима эксплуатации в течение 72 часов без постоянного присутствия обслуживающего персонала (BosB 72 h) (см. раздел F.1.1).

Любой паровой котел имеет два штуцера DN 100, оснащенных механической защитой от влияния вспенивания котловой воды на показания уровня (согласно EN 12953-9), в каждом из которых монтируется по два электрода уровня. Возможные комбинации электродов уровня: WB+WR или WB+HW. Монтаж двух электродов WB в одном штуцере не допускается.

WB – электрод ограничения минимального уровня воды
WR – электрод контроля уровня воды
HW – электрод ограничения максимального уровня воды

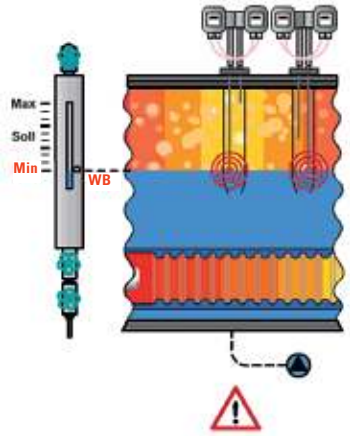
Для режима работы без постоянного присутствия обслуживающего персонала необходимо (согласно EN 12953) обеспечить регулирование уровня воды. Тип регулирования уровня стандарты не оговаривают, а это значит, что можно применять как позиционное, так и плавное регулирование уровня воды. Для позиционного регулирования часто применяются кондуктивные (проводящие) полиэлектроды, которые благодаря различной длине отдельных электродных стержней позволяют реализовать функции включения и выключения питательного насоса, а также обеспечить контроль над граничными аварийными уровнями. Для установок производительностью более 2 т/ч предпочтительно использовать плавное регулирование уровня воды. В этом случае уровень непрерывно фиксируется посредством емкостного электрода. Плавное регулирование подачи воды в котел осуществляется регулятором уровня на основе сравнения текущего и заданного значения уровня путем воздействия на регулирующий клапан питательной воды или питательный насос с частотным преобразователем.

Рис. C.1.1-8: Электроды уровня, поддержание уровня



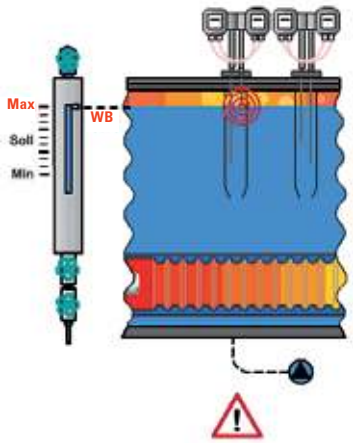
Кроме того, стандарт EN 12953 требует применения двух работающих независимо друг от друга устройств, которые препятствуют понижению уровня воды ниже минимального (электроды ограничения минимального уровня воды WB). Данные ограничительные электроды следует монтировать в двух отдельных штуцерах с соответствующими защитными трубами для защиты от вспенивания. Согласно положениям TRD 604 для режима эксплуатации в течение 72 часов без постоянного присутствия обслуживающего персонала (BosB 72 h) котел должен быть оснащен дополнительным устройством (электродом ограничения максимального уровня воды HW), которое бы надежно препятствовало превышению максимально допустимого уровня воды.
Таким образом, для режима работы (BosB 72 h) для контроля уровня воды необходимо использовать четыре отдельных электрода уровня.

Рис. C.1.1-9: Электродные ограничители минимального уровня воды в котле



Цепь безопасности, минимальный уровень

Рис. C.1.1-10: Электродный ограничитель максимального уровня воды в котле



Цепь безопасности, максимальный уровень

Устройства безопасности котла: см. раздел D.1.

Ограничительные электроды минимального и максимального уровней защищают от понижения ниже минимально допустимого или повышения выше максимально допустимого уровня воды в котле в процессе его эксплуатации (соответственно WB и HW). При достижении граничных уровней происходит размыкание цепи безопасности, отключение горелки и блокировка работы котла.

Отключение горелки по сигналу максимального уровня воды в котле (HW) требуется лишь в том случае, если могут повредиться следующие за котлом поверхности нагрева. В противном случае электрод максимального уровня воздействует лишь на систему питания котла водой, прекращая временно подачу питательной воды в котел до состояния, когда электрод максимального уровня не выйдет из воды.



C.1.2. Многокотловая установка

Для обеспечения надежности работы паровой котельной установки, например, в больницах для стерилизации или при значительных колебаниях в паропотреблении в течение определенных промежутков времени (день-ночь, лето-зима) применяются многокотловые установки (см. C.1.2-1).

Еще одним основанием для выбора многокотловой установки служит комбинация парового котла для сжигания древесины (биомассы) с паровым котлом для сжигания жидкого топлива или газа. Паровой котел для сжигания древесины (биомассы), как правило, является ведущим котлом в каскаде и покрывает базовую нагрузку. Для покрытия пиковых нагрузок и на случай выхода из строя ведущего котла применяются котлы для сжигания жидкого или газообразного топлива. Температура и давление пара в котле для сжигания жидкого топлива или газа поддерживается за счет дополнительных интегрированных поверхностей нагрева (греющего трубного регистра), которые обогреваются паровым котлом для сжигания древесины (биомассы).

Выбор количества котлов в паровой котельной установке и их мощности определяется требуемым уровнем надежности установки и минимальными эксплуатационными затратами. Паропроизводительность жаротрубного парового котла не имеет минимальных ограничений и может изменяться в диапазоне от 0 до 100%. Однако качество регулирования (стабильность поддержания давления пара на выходе из котла) зависит от диапазона модуляции горелки.

Современные газовые горелки больших мощностей могут настраиваться на минимальную мощность, составляющую до 1/8 максимальной мощности котла. Если потребность в паре опускается ниже этого предела модуляции, котел переходит в режим периодической работы горелки.

Паровые котельные установки с несколькими котлами работают преимущественно по схеме последовательного включения. Подобная схема позволяет получить режим работы, который полностью соответствовал бы потребностям в паре, обеспечивая при этом максимальную экономичность и высокую надежность. Такой режим работы достигается за счет уменьшения количества пусков горелки и эксплуатации котлов в среднем диапазоне нагрузки при минимальных потерях теплоты с дымовыми газами и соответственно высоким КПД.

Рис. C.1.2-1: Паровая котельная больницы

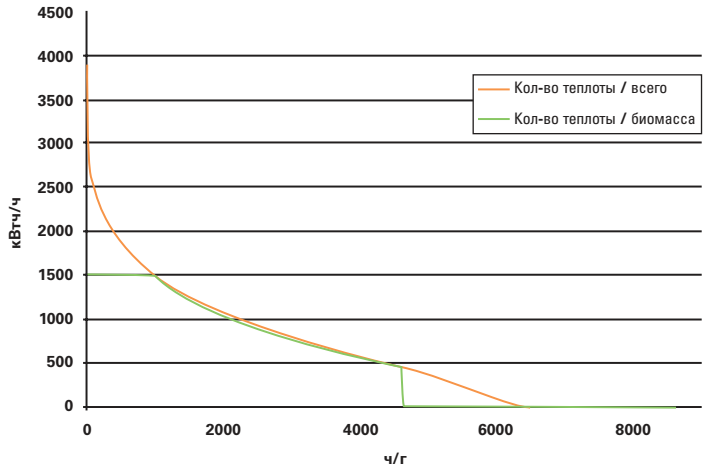


Больница в Польше (AMH Chorzow Polen). Три паровых котла высокого давления Vitomax 200-HS паропроизводительностью 2,4 т/ч 8 бар. Пароснабжение системы отопления, прачечной и системы стерилизации.

Как правило, каждый котел имеет свой собственный щит управления, который позволяет независимо управлять работой котла. Системы управления котлами, как правило, строятся на базе свободно программируемых контролеров («Speicherprogrammierbare Steuerung» – SPS). Для каскадного регулирования также применяется щит управления на основе SPS, который в свою очередь задает режим работы отдельных котлов.

Каскадный щит управления определяет ведущий котел и последовательность включения ведомых котлов в каскад при последовательном регулировании. Котлы, проходящие, например, техническое обслуживание или не использующиеся по причине длительной низкой потребности в паре и поэтому законсервированные, выводятся из каскада.

Рис. C.1.2-2: График годовой тепловой нагрузки



Графики распределения годового количества теплоты, покрываемого за счет котла для сжигания древесины (номинальной мощностью 1,500 кВт) и котла для сжигания жидкого топлива или газа наглядно демонстрируют работу комбинированных систем.

Рис. C.1.2-3: Запорный паровой клапан с электроприводом



Запорный паровой клапан, управляемый с помощью электропривода.

Рис. C.1.2-4: Панель управления SPS



Сенсорная панель SPS для щита управления «Vitocontrol».

Рис. C.1.2-5: Щит управления «Vitocontrol»



Щит управления «Vitocontrol» с сенсорной панелью SPS.

Ведущий котел автоматически меняется в соответствии с программой SPS через определенные промежутки времени и в запрограммированной последовательности. Подключение ведомого котла может произойти, например, в том случае, если находящиеся в работе котлы в течение установленного промежутка времени работают с мощностью более 80%.

При подключении ведомого котла в каскад сначала включается его горелка, и после достижения в котле давления равного давлению в системе, открывается управляемый электроприводом запорный паровой клапан (см. рис. C.1.2-3) и котел начинает работать на общий паровой коллектор.

Отключение котла из каскада происходит, если мощность работающих котлов, например, опускается ниже 35%. Ведомый котел отключается и управляемый электроприводом запорный паровой клапан на нем закрывается.
В находящихся в резерве котлах поддерживается давление (режим «горячего резерва»), величина которого ниже необходимого рабочего давления пара в общей системе.

Таким образом, резервные котлы, могут быть быстро включены в каскад при необходимости, а корпус котла защищен от переменных тепловых и механических нагрузок, а также коррозии.

Все настройки для каскадной работы котлов определяются индивидуально для каждой котельной установки и задаются посредством SPS (см. рис. C.1.2-4 и C.1.2-5).

C.1.3. Паровые котлы в режиме «горячего резерва»

В многокотловой установке, в которой, например, один паровой котел применяется для покрытия пиковых нагрузок 1 раз в сутки, рекомендуется данный котел постоянно поддерживать под давлением. Это же относится и к перерывам в работе котлов на выходные дни. То есть котлы поддерживаются под давлением ниже рабочего.

Это гарантирует, что паровые котлы смогут в кратчайшее время включиться в работу для обеспечения паром технологического процесса, а котельная установка, при условии использования термической деаэрации, будет защищена от попадания кислорода.

C.1.3.1. Способы поддержания давления

A. Поддержание давления посредством горелки

В SPS вторая заданная ступень давления соответствует меньшим величинам избыточного давления (например, 4 бара). Горелка после включения повышает давление в котле до заданного значения. Как только датчик давления зафиксирует достижение заданного значения, горелка отключается. Система термической деаэрации в данном случае должна продолжать работать. Это значит, что деаэратор в любом случае должен находиться под избыточным давлением во избежание попадания кислорода.

B. Поддержание давления посредством греющего трубного регистра

В многокотловых установках котлы можно поддерживать под давлением при помощи дополнительных трубных поверхностей нагрева (греющего трубного регистра), интегрированных в водяную часть котла и обогреваемых паром. Подвод пара делается регулируемым, чтобы поддерживать в котле требуемые параметры.

Необходимым условием является постоянное наличие в работе хотя бы одного котла для подачи теплоносителя в греющий трубный регистр (см. рис. C.1.3.1-1).

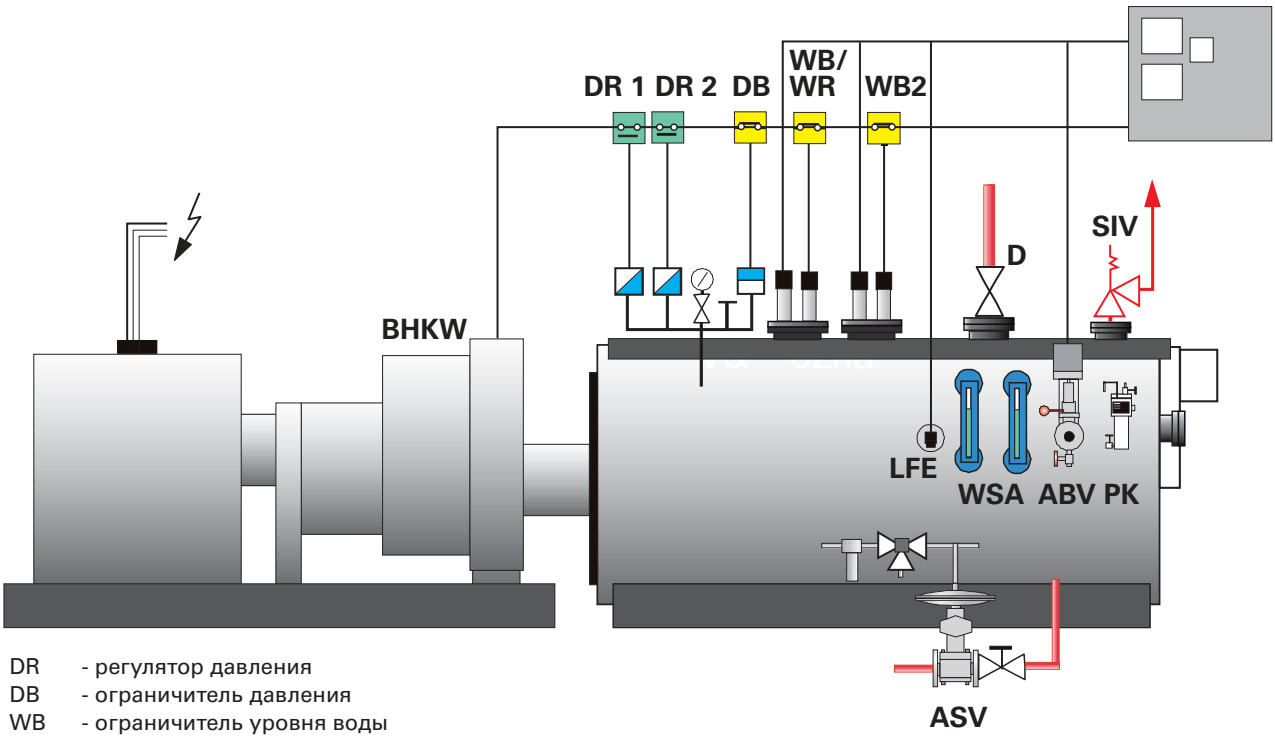
Альтернативно можно отказаться от регулирования давления пара на входе в греющий трубный регистр, если в котле необходимо поддерживать постоянные параметры, на которые рассчитан греющий трубный регистр.

Для возможности использования каждого котла попеременно в качестве ведущего рекомендуется каждый котел оснастить греющим регистром.

Рис. C.1.3.1-1: Поддержание давления посредством греющего трубного регистра



Рис. C.1.4-1: Котел-утилизатор



DR - регулятор давления
DB - ограничитель давления
WB - ограничитель уровня воды
WR - регулятор уровня воды
D - паровой штуцер
SIV - предохранительный клапан
LFE - электрод электропроводимости
WSA - указатель уровня воды
ABV - регулирующий клапан непрерывной продувки
PK - охладитель проб
ASV - клапан периодической продувки

C.1.4. Котел-утилизатор

Котлы-утилизаторы используют теплоту дымовых газов (образующихся при горении) или теплоту потока горячего отработанного воздуха (в промышленных процессах) для получения горячей воды, насыщенного или перегретого пара.

Функциональные особенности и конструкция

Котлы-утилизаторы производства VIESSMANN по конструктивному исполнению относят к жаротрубным котлам. При этом горячие отходящие газы проходят по трубкам, где и отдают свое тепло находящейся в котле воде.

В теплообменниках отходящих газов, наоборот, вода течет по трубам, а дымовые газы проходят внутри корпуса теплообменника, в межтрубном пространстве.

Теплообменники отходящих газов более предпочтительны при использовании дымовых газов с низкой температурой для нагрева воды. На входе и выходе котла-утилизатора располагаются камеры сбора греющих газов, к которым подключаются газоходы и на которых расположены лючки для чистки.

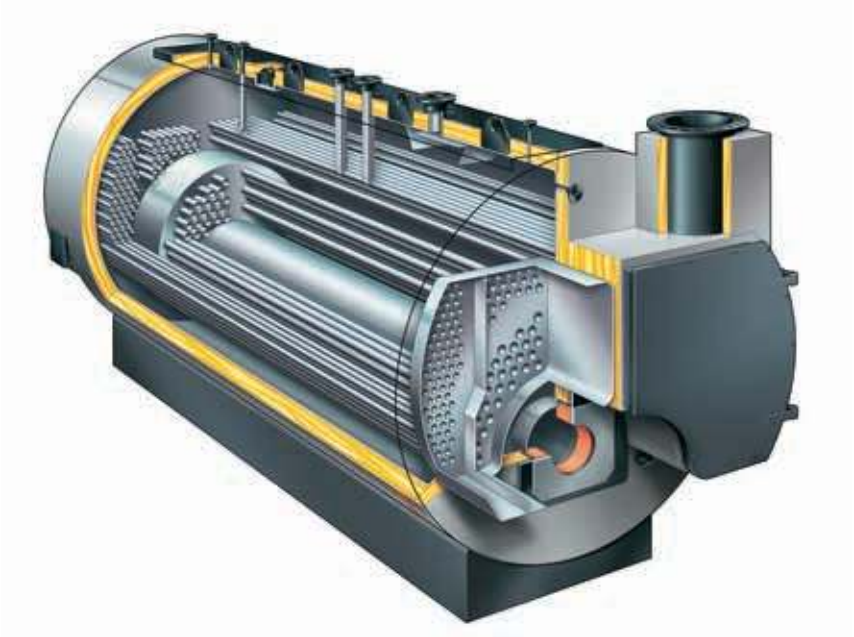
С целью минимизации теплопотерь излучением для котлов-утилизаторов применяется тепловая изоляция толщиной 120 мм, покрытая снаружи окрашенной листовой сталью.
Как и все котлы-утилизаторы, Vitomax устанавливаются на опорные рамы, которые позволяют равномерно распределить передаваемую на фундамент нагрузку.

Рис. C.1.4-2: Одноходовой котел-утилизатор



Котлы-утилизаторы производства компании VIESSMANN существуют в двух разных исполнениях: котлы-утилизаторы без дополнительной горелки, имеющие только утилизационную часть. При этом для получения горячей воды или насыщенного пара применяются исключительно дымовые газы или отходящий горячий воздух.

Рис. C.1.4-3: Жаротрубный трехходовой паровой котел Vitomax 200-HS с дополнительными использованием теплоты отходящих газов



Паровые или водогрейные котлы с дополнительным использованием теплоты отходящих газов:
В данном случае речь идет о традиционном котле с горелкой и дополнительным трактом утилизации для использования теплоты отходящих газов.

Применение того или иного варианта зависит от конкретных условий на объекте.



Экономайзер

Экономайзером называют теплообменник отходящие газы/вода, который интегрирован в паровой котел, или в виде отдельного блока, размещен в верхней части камеры сбора отходящих дымовых газов или располагается за котлом. В паровых котлах экономайзеры используются для предварительного нагрева питательной воды. Они служат для повышения эффективности использования энергии и, следовательно, для повышения КПД паровой котельной установки.

Температура отходящих газов на выходе из котла приблизительно на 60 – 80 K выше температуры насыщенного пара. Меньшие значения нецелесообразны по теплотехническим и экономическим соображениям.

При такой относительно высокой температуре отходящих дымовых газов расчетный КПД составляет от 88 до 91% при стопроцентной мощности котла. Таким образом, потери теплоты с отходящими газами могут достигать 12%.
Нормы «Федерального общества по защите от вредных выбросов» BImSchV ограничивают максимальные теплопотери с отходящими газами величиной 9%. Поэтому для выполнения данного граничного требования в паровых котлах применяются устройства для предварительного нагрева питательной воды (экономайзеры – ECO).
Кроме того, это самый экономичный способ увеличения КПД.

Как правило, экономайзер подключаются к третьему ходу трехходовых жаротрубных котлов или к двухходовым котлам (котлам для сжигания древесины или биомассы Pyroflex FSB / Pyroflex FSR) или котлам с реверсивной камерой сгорания. При этом происходит дополнительное охлаждение отходящих дымовых газов питательной водой котла при противоточном движении теплоносителей (рис. C.2-1).
Теплотехнический расчет осуществляется с учетом таких данных, как расход и температура отходящих дымовых газов, расход и температура питательной воды, и требуемая температура отходящих газов после экономайзера.

Рис. C.2-1: Схема подключения экономайзера к паровому котлу VIESSMANN (MAWERA)

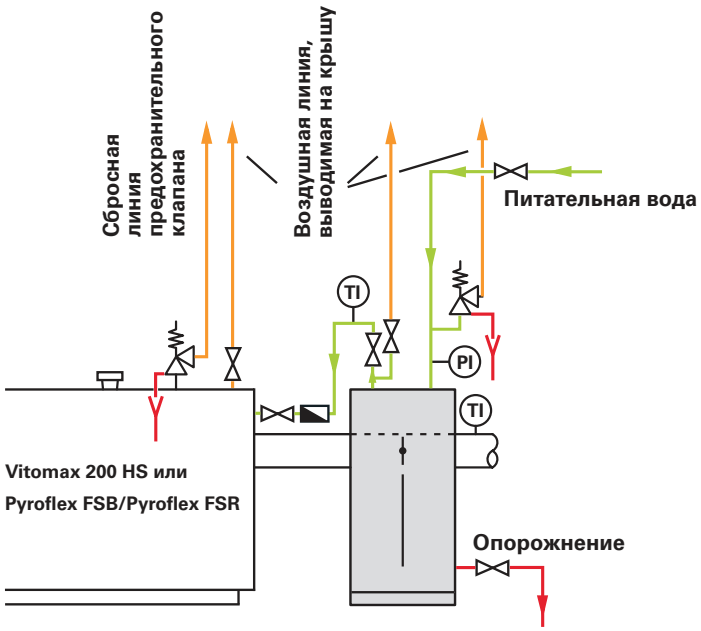


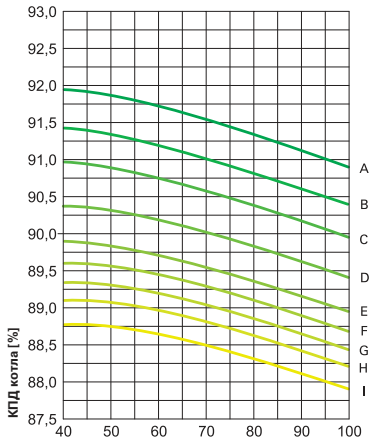
Схема подключения отключаемого по воде экономайзера с арматурой и байпасом дымовых газов.

В зависимости от площади поверхности нагрева охлаждение отходящих газов происходит до температуры около 130 °C. В программе поставок для паровых котлов Vitomax представлены два варианта экономайзеров: для охлаждения отходящих газов до температуры 180 °C или до температуры 130 °C. Для котлов Pyroflex FSB / Pyroflex FSR существуют серийные экономайзеры для охлаждения отходящих газов до температуры 130-180 °C в зависимости от давления.

Питательная вода нагревается от 102 °C (температура на входе) до приблизительно 135 °C (при температуре отходящих газов 130 °C). По желанию заказчика экономайзер может быть запроектирован на другие значения температуры питательной воды.

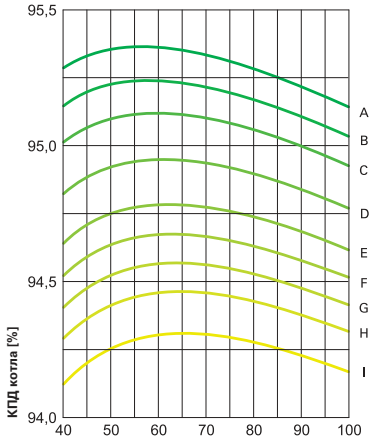
Таким образом, возможно достижение КПД до 95% (при рабочем давлении 12 бар) (рис. C.2-2 и C.2-3).

Рис. C.2-2: Без экономайзера



A - рабочее давление 5 бар
B - рабочее давление 7 бар
C - рабочее давление 9 бар
D - рабочее давление 12 бар
E - рабочее давление 15 бар
F - рабочее давление 17 бар
G - рабочее давление 19 бар
H - рабочее давление 21 бар
I - рабочее давление 24 бар

Рис. C.2-3: С экономайзером ECO 200



A - рабочее давление 5 бар
B - рабочее давление 7 бар
C - рабочее давление 9 бар
D - рабочее давление 12 бар
E - рабочее давление 15 бар
F - рабочее давление 17 бар
G - рабочее давление 19 бар
H - рабочее давление 21 бар
I - рабочее давление 24 бар

КПД котла (с учетом теплопотерь излучением) в зависимости от рабочего давления (остаточное содержание кислорода в отходящих газах = 3%, температура питательной воды = 102 °C).



Пароперегреватель

На многих промышленных предприятиях выдвигаются особые требования к параметрам пара для покрытия технологических нагрузок.

Рис. C.3-1: Котел Vitomax 200-HS



Котел Vitomax 200-HS
с пароперегревателем, 22 т/ч
10 бар, в процессе производства
(смонтирован в Литве).

Для ряда технологических процессов требуется пар с более высокой температурой, чем температура насыщенного пара. Для этого необходим перегрев пара. С этой целью компания VIESSMANN разработала специальные пароперегреватели, которые устанавливаются между вторым и третьим ходами котла Vitomax 200-HS.

При этом перегреватель может перегревать пар до температуры около 50 K выше температуры насыщения.

Рис. C.3-3: Паровой котел с регулируемым пароперегревателем

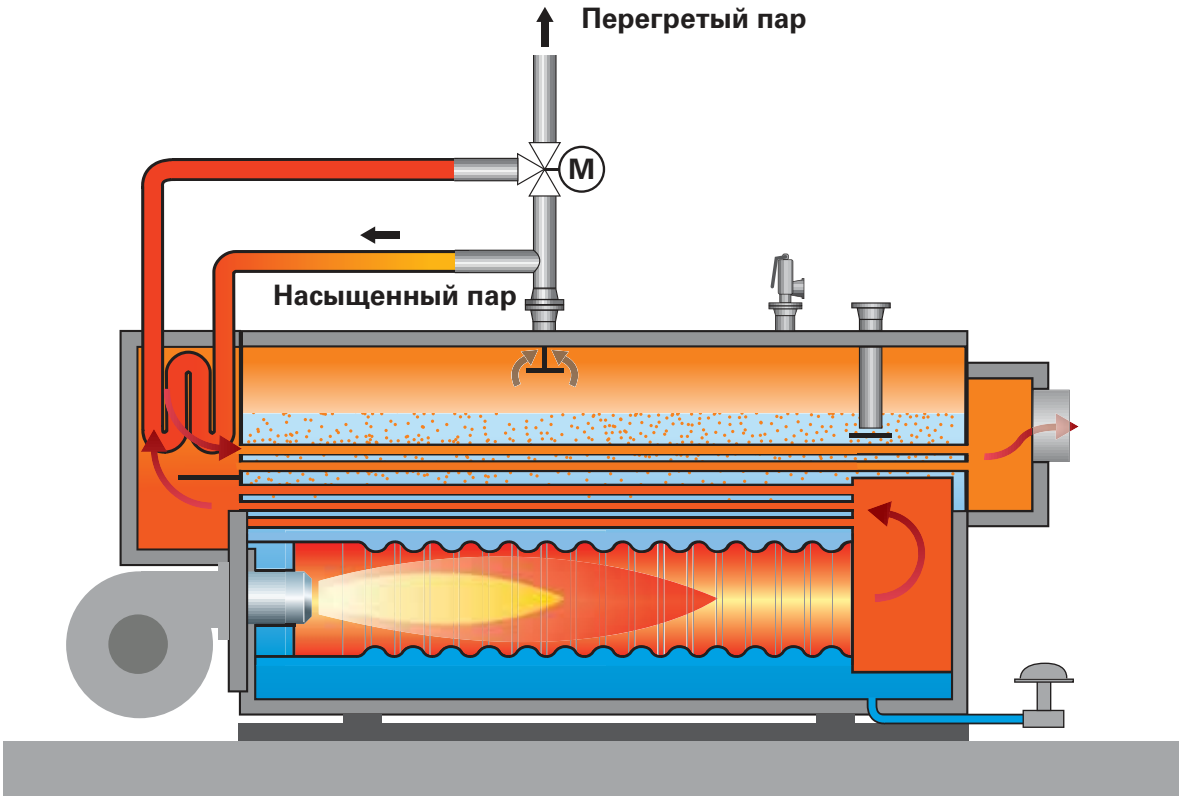
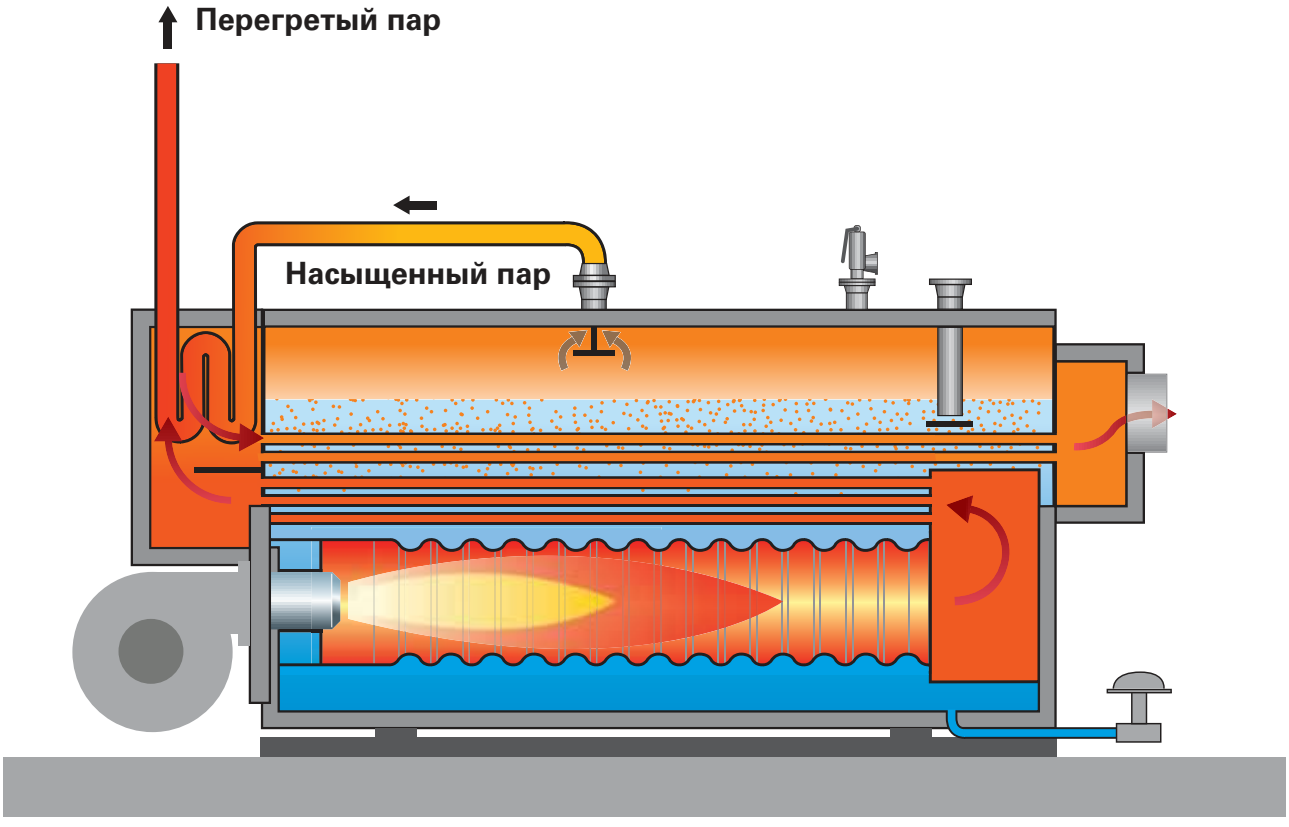
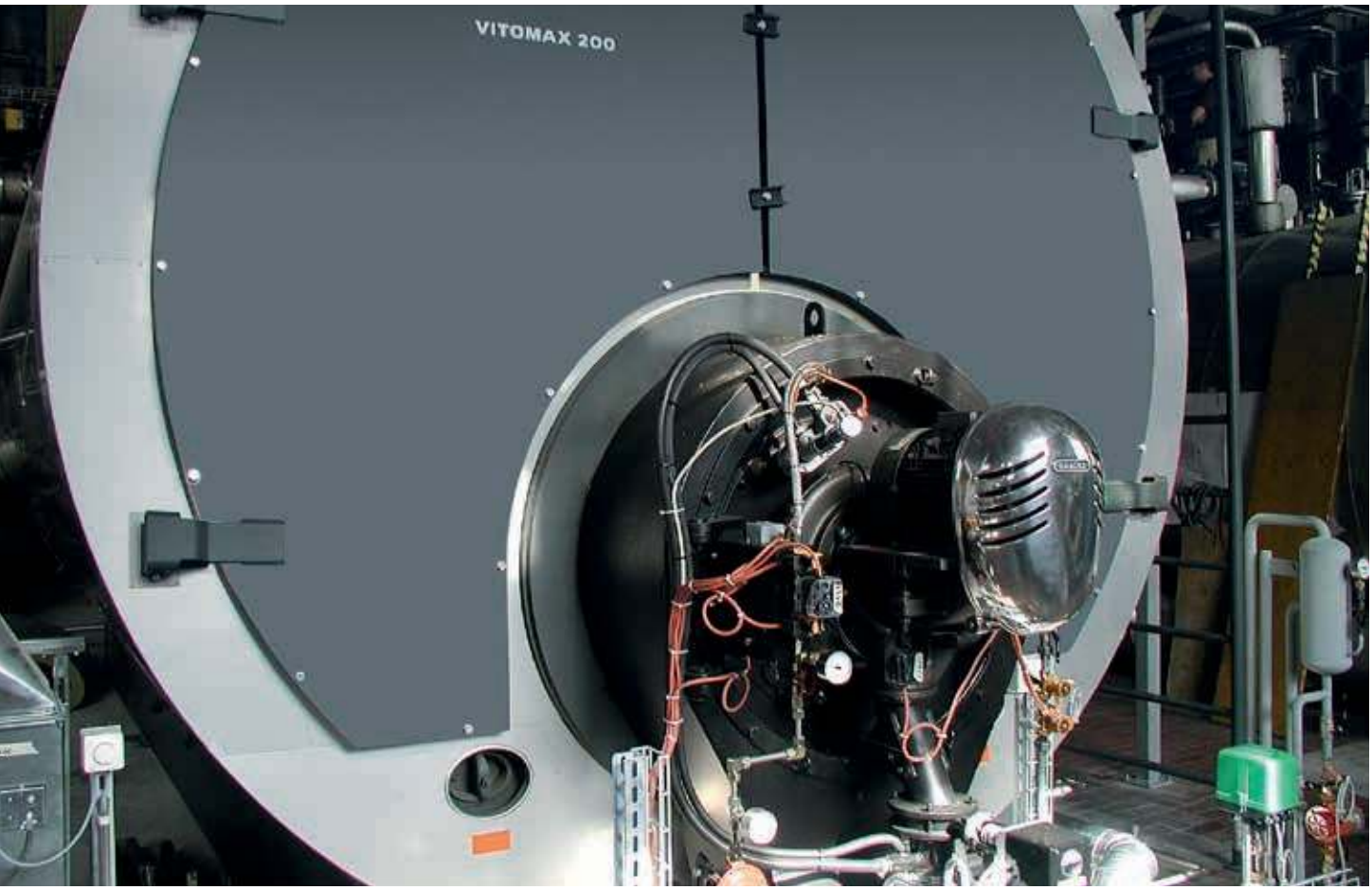


Рис. C.3-4: Паровой котел с нерегулируемым пароперегревателем





Горелочные устройства

Задача горелки заключается в преобразовании энергии топлива в тепловую энергию.

Как правило, в котлах с большим объемом котловой воды сжигается жидкое и/или газообразное топливо. Однако все чаще используются котлы для сжигания древесины (биомассы), в каскаде с которыми для покрытия пиковых нагрузок в качестве ведомого котла применяются паровые котлы для сжигания газа или жидкого топлива.

C.4.1. Воздух для горения

Сжигание газа или жидкого топлива возможно только при наличии кислорода (воздуха). Поэтому каждая дутьевая горелка оборудована вентилятором для подачи воздуха для горения. В зависимости от варианта монтажа различают моно- или двухблочное исполнение.

- Моноблочное исполнение: вентилятор установлен на горелке.
- Двухблочное исполнение: вентилятор располагается отдельно от горелки.

Задача вентилятора заключается в обеспечении необходимым количеством воздуха (с ок. десятипроцентным запасом по отношению к теоретически необходимому количеству воздуха для горения) и преодолении аэродинамического сопротивления, зависящего от особенностей конструкции котельной установки. Речь идет об аэродинамическом сопротивлении котла, горелки, экономайзера, шумоглушителя уходящих газов, а также соединительных газоходов.

Для обеспечения экологического сгорания и продолжительного срока службы котла и горелки температура воздуха для горения должна находиться в пределах 5 – 40 °C. Воздух не должен содержать агрессивных компонентов, таких как соединения хлора или галогеновые соединения.

C.4.2. Жидкое топливо

Жидкое топливо подразделяется на две категории:

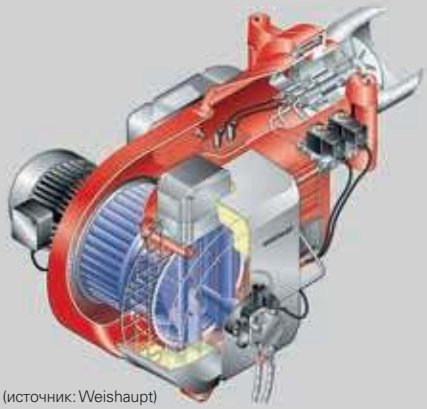
- HEL: Hi = 42,7 МДж/кг (легкое жидкое топливо);
- S-ÖL(1): Hi = 40,2 МДж/кг (мазут, тяжелое жидкое топливо).

В зависимости от страны производителя категории жидкого топлива могут быть иными. Используемый вид жидкого топлива определяет выбор типа горелки. Различают горелки с механической форсункой, с паровой механической форсункой и ротационной форсункой.

Механическая форсунка

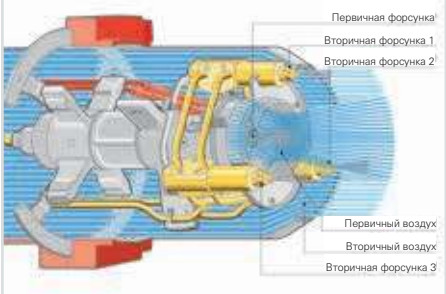
С помощью насоса жидкое топливо за счет высокого давления распыляется форсункой до состояния взвеси. Такие горелки применяются преимущественно для распыления легкого котельного топлива (рис. C.4.2-1 и C.4.2-2).

Рис. C.4.2-1: Горелка с механической форсункой



(источник: Weishaupt)

Рис.. C.4.2-2: Горелка с механической форсункой в разрезе



(источник: Weishaupt)

Примечание

Стандарты DIN 51603T1 и T3 устанавливают минимальные требования к упомянутым категориям жидкого топлива. Однако может широко применяться, особенно в странах не входящих в европейский союз, различное жидкое топливо, не относящееся ни к одной из названных категорий.

[1] При сжигании мазута и в случае применения парового котла с экономайзером следует учесть примечание на стр. 72 C.8.5.

Примечание

Определение параметров системы подачи топлива
см. на стр. D.8.5.6.

Паровая механическая форсунка
Жидкое топливо распыляется в головке горелки при помощи пара. Как правило, данный способ применяется при мощностях, существенно выше мощностей рассматриваемых здесь котлов с большим водяным объемом.

Ротационная форсунка
Жидкое топливо подается в основание вращающегося с большой скоростью распылительного стакана. Благодаря вращению и конусообразной форме распылительного стакана жидкое топливо перемещается в направлении камеры сгорания и под действием центробежной силы и подающегося с высокой скоростью воздуха распыляется до мельчайших частиц на краю распылительного стакана.
Ротационные форсунки чаще всего применяются при сжигании тяжелого жидкого топлива (рис. C.4.2-3). Они также могут использоваться для сжигания легкого жидкого топлива, остаточных маслянистых соединений (например, смеси жиров или остатков после обезжиривания), животных жиров, а также рапсового масла.

Рис. C.4.2-3: Ротационная форсунка



(источник: Saacke)

C.4.3. Газообразное топливо

Здесь рассматривается семейство газообразного топлива на основе природного газа. Сжиженный и «городской» газы подробно не рассматриваются, поскольку роль их как горючего несущественна.

Природный газ – это газ естественного происхождения, который главным образом состоит из метана (CH_4). В зависимости от месторождения состав природного газа может меняться.
Как правило, природный газ содержит инертные газы (негорючие компоненты), а также часто тяжелые углеводороды. Природный газ тяжелее «городского» газа, но легче воздуха.
Природный газ E: Hi = 36 МДж/кг.
Природный газ LL: Hi = 32 МДж/кг.

Возможно подмешивание к природному газу биогаза и газа, выделяющегося в процессе очистки сточных вод. Однако часто эти газы могут сжигаться и без подмешивания природного газа.

Следует учитывать изменение теплоты сгорания (теплотворной способности) при применении смесей газов, что требует соответствующей настройки горелок или применения горелок специальной конструкции.

Обычно при оснащении котельной установки необходимо учитывать процентное содержание серы в применяемом для сжигания газе, поскольку для соприкасающейся с газом арматуры иногда следует применять такие высококачественные материалы, как нержавеющая сталь.

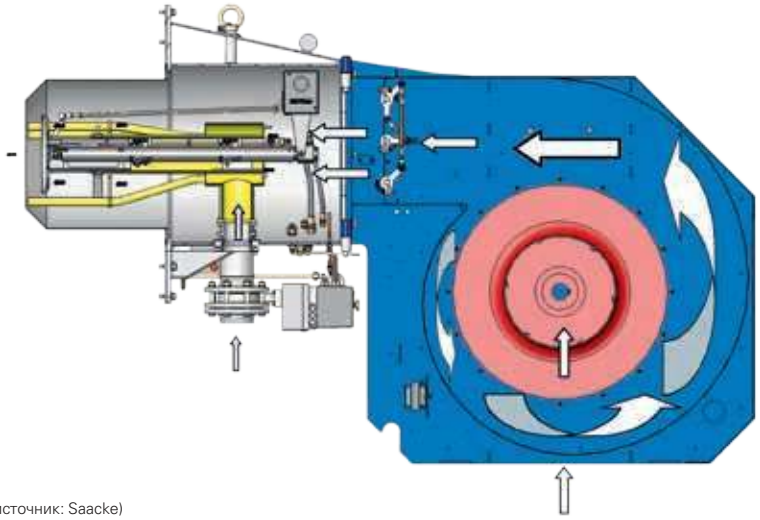
C.4.4. Двухтопливная горелка

Как правило, в данном случае речь идет о горелках, которые работают как на газовом, так и на жидком топливе (рис. C.4.4-1).

Переход на другой вид топлива происходит либо в ручном режиме, либо автоматически (например, на время вынужденных перебоев с поставкой газа, когда необходимо перейти на жидкое топливо).

Данный вариант предпочтителен для больших котельных установок, когда необходимо обеспечить бесперебойную работу.

Рис. C.4.4-1: Система смешения воздуха с газовым и жидкообразным топливом в двухтопливной горелке (исполнение Low-NO_x)



(источник: Saacke)

Рис. C.4.4-2: Котел Vitomax 200-HS с жидкотопливной горелкой



Рис. C.4.5-1: Камера сгорания MAWERA с подвижной колосниковой решеткой Pyroflex (вид изнутри)



C.4.5. Сжигание древесины

Наряду с предприятиями деревообрабатывающей промышленности все больше небольших предприятий и промышленных производств (не специализирующихся на обработке древесины) останавливают свой выбор на таком виде топлива, как древесина (биомасса). В отличие от других видов топлива древесина (биомасса) менее подвержена колебанию цен, поставляется из экономически благополучных регионов, гарантирующих возможность поставок в будущем, и также является CO_2 нейтральным топливом.

Рис. C.4.5-2: Виды топлива (древесное топливо)



В качестве котлов для сжигания древесины (с камерой сгорания, имеющей подвижную колосниковую решетку) применяются паровые котлы производства MAWERA Pyroflex FSB и FSR. Котел Pyroflex FSR отличается от котла Pyroflex FSB, прежде всего, объемом топочного пространства и площадью колосниковой решетки. При этом котел Pyroflex FSB является более компактным агрегатом для сжигания древесного топлива.

Из-за инерционности сжигания древесины в случае быстрого отключения потребителя образующийся в котле пар необходимо отводить с помощью специального клапана.

Конструкция и функциональные возможности

Котел Pyroflex с подвижной колосниковой решеткой, кроме сжигания биомассы, пригоден и для сжигания других видов топлива с повышенным образованием золы или топлива с высокой долей посторонних примесей (например, песка, обломков металла и т. п.).

Главным преимуществом котла Pyroflex с подвижной колосниковой решеткой является, с одной стороны, возможность применения различного органического топлива, а с другой стороны, низкое содержание золы в дымовых газах благодаря малоподвижному слою топлива.

Технология уменьшения выброса вредных веществ Low-NO_x

Камеры сгорания серийно поставляются в исполнении с технологией снижения образования оксидов азота (технология Low-NO_x) для сжигания топлив с высоким содержанием азота. Камера сгорания в таком исполнении представляет собой двухступенчатую камеру со ступенчатой подачей воздуха для снижения выбросов NO_x. Данный эффект дополнительно усиливается за счет применения рециркуляции дымовых газов. Геометрия камеры сгорания, состоящей из зоны восстановления (первичная зона) и зоны окисления (вторичная зона) разработана в нашем конструкторском бюро.

Забор топлива / транспортировка топлива

Для забора топлива из бункеров различных видов применяются шнековые (с электроприводом) или иные механические (с гидравлическим приводом) разгрузочные устройства фирмы Mawera. В качестве устройств для транспортировки топлива, в зависимости от специфики объекта и гранулометрического состава топлива, могут применяться транспортировочные системы различного типа: цепные, шнековые или гидравлические.

Удаление золы из дымовых газов

В качестве систем для очистки дымовых газов от золы применяются мультициклонные фильтры, которые позволяют достичь остаточного содержания золы в дымовых газах в зависимости от вида топлива от < 60 до < 150 мг/нм³ (содержание кислорода от 11 до 13%). Для достижения более высокой степени очистки дымовых газов от золы на уровне 10-50 мг/нм³ в зависимости от вида топлива применяются тканевые фильтры, металлические сетчатые фильтры или электрофильтры.

Mawera Logic

Управление котельной установкой осуществляется микропроцессорным регулятором Mawera Logic с сенсорным дисплеем. Дополнительно предусмотрены модем для дистанционного контроля, система компьютерной визуализации (MaVis) и система рассылки сообщений о неисправностях (Telnot).

Рис. C.4.5-3: Котел Pyroflex с подвижной колосниковой решеткой (поперечное сечение)



1. Сопла для подачи вторичного воздуха для горения
2. Камера сгорания исполнения Low-NO_x
3. Подвижная колосниковая решетка
4. Подача топлива с помощью гидравлического толкателя или винтового шнека
5. Подача первичного воздуха для горения
6. Автоматическое удаление золы
7. Рециркуляция дымовых газов

Для котлов Pyroflex с подвижной колосниковой решеткой характерно:

- минимальные теплопотери излучением, благодаря полной тепловой изоляции всего котла;
- неподвижный горящий слой топлива на колосниковой решетке существенно уменьшает эмиссию вредных выбросов;
- управление температурой пламени с интегрированным адаптивным поддержанием остаточного кислорода;
- самые современные микропроцессорные системы управления с автоматическим определением влажности топлива в диапазоне нагрузок от 25 до 100% при поддержании уровня эмиссии вредных выбросов на требуемом уровне.
- контролируемое полное сгорание топлива благодаря подвижной колосниковой решетке, разделенной на две или три части, работающие с различными скоростями;
- высокая износоустойчивость благодаря большой площади колосниковой решетки и охлаждению водой в случае применения гидравлического толкателя, подающего топливо в котел;
- расположенные внахлест плотно прилегающие друг к другу колосники сводят к минимуму объем топлива, проваливающегося через щели колосниковой решетки. Непрерывное автоматическое золоудаление.



Водоподготовка

В природе самая чистая вода – это дождевая вода.

Тем не менее дождевая вода содержит растворенные газы, поступающие из атмосферы. Как правило, это кислород, азот и двуокись углерода, а также соединения серы («кислотные дожди»). Вследствие прохождения воды через почву добавляются такие вещества, как, например, железо и соли жесткости. Поэтому качество воды зависит еще и от того, какой путь она проделала, проходя через почву.

Целью водоподготовки является подготовка воды для обеспечения безупречной работы котельной установки. Это значит, что из воды необходимо либо устранить нежелательные примеси, либо связать их посредством добавления различных химических реагентов.

В качестве исходной (неподготовленной для применения в котельных установках) сырой воды применяются как поверхностные воды, так и вода из скважин, или предварительно обработанная водопроводная вода. Поверхностные воды или вода из скважин могут содержать такие компоненты как, например, взвеси, осадок, органические примеси, железо и соединения марганца, которые подлежат устранению на первых этапах водоподготовки. В случае применения водопроводной воды такая предварительная обработка не требуется.

Общие положения

На воду или пар, которые используются в различных установках, распространяются требования по содержанию допустимых примесей. В зависимости от давления генерируемого пара следует соблюдать определенные требования Инструкции по проектированию «Качество воды / нормативные показатели» (раздел G.1 (A.3).

Для выполнения этих требований, необходимо осуществлять обработку исходной сырой воды. Применяемые для этого технологии, как правило, представляют собой комбинацию химической и термической водоподготовки.

В установке для снижения жесткости (умягчения) воды связываются и выводятся содержащиеся в исходной воде соли жесткости (см. раздел C.5.1 – химическая водоподготовка). Кроме того, в воде растворены газы, которые высвобождаются при нагреве воды в паровом котле и неизбежно приводят к коррозии как котла, так и паровой системы в целом.

По этой причине химочищенная вода из установки для снижения жесткости воды подается на термическую подготовку (дегазацию) в деаэратор совместно с возвращенным от потребителя конденсатом (см. раздел C.5.3 – термическая водоподготовка). Для обеспечения нормативной концентрации остаточного кислорода в питательной воде (максимум 0,02 мг/л) его дополнительно связывают с помощью химических реагентов. Применение только химических реагентов для связывания кислорода в большинстве случаев экономически нецелесообразно.

Примечание

В стандартах EN 12953 Часть 10, TRD 611 и в Инструкции Viessmann по проектированию «Качество воды для паровых котельных установок» отражены требования, предъявляемые к питательной и котловой воде (см. рис. C.5-1 и C.5-2, а также раздел G.1 A.3).

Рис. C.5-1: Требования к солесодержащей питательной воде котла

Допустимое рабочее давление	**бар**	**0,5 ≦ PS ≦ 20**	**PS > 20**
Общие требования		бесцветная, прозрачная и не содержит нерастворенных веществ	
Значение pH при 25 °C		> 9	> 9
Электропроводимость при 25 °C	мкС/см	важны только нормативные показатели для котловой воды	
Общая жесткость (Ca^{2+} + Mg^{2+})	ммоль/л	< 0,01	< 0,01
Кислород (O_2)	мг/л	0,05	< 0,02
Углекислота (CO_2), связанная	мг/л	< 25	< 25
Железо, всего (Fe)	мг/л	< 0,2	< 0,1
Медь, всего (Cu)	мг/л	< 0,05	< 0,01
Окисляемость (Mn VII → Mn II) как $KMnO_4$	мг/л	< 10	< 10
Масла, жиры	мг/л	< 1	< 1
Органические вещества	---	см. примечание	

Примечание

В целом органические вещества представляют собой смеси различных соединений. Состав таких смесей и поведение их компонентов в условиях эксплуатации котла сложно предсказать. Органические вещества могут распадаться на углекислоту или другие кислоты, повышающие электропроводимость и являющиеся причиной коррозии и отложений. Кроме того, они могут приводить к образованию пены и/или отложений, что должно быть в максимально возможной степени снижено. Также должно быть обеспечено минимально возможное содержание TOC (Total Organic Carbon – общее содержание органического углерода), а именно – менее 10 мг/л.

Примечание

Для работы паровых котлов стандарты EN 12953 и TRD 611 обязывают проводить «необходимую подготовку и контроль качества питательной и котловой воды».

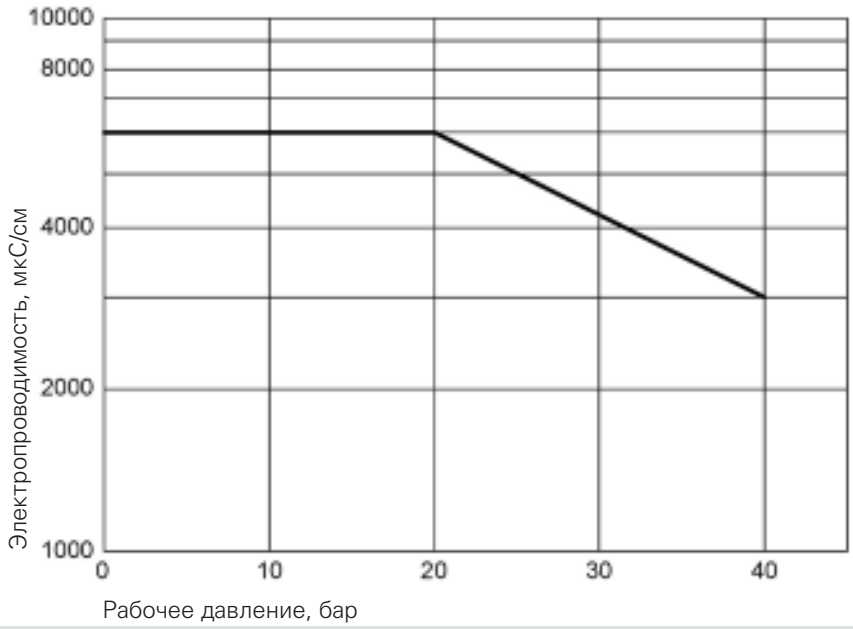
Рис. C.5-2: Требования к котловой воде

		Электропроводимость питательной воды > 30 мкС/см		**Электропроводимость питательной воды ≤30 мкС/см**
Допустимое рабочее давление	**бар**	**0,5 ≦ PS ≦ 20**	**PS > 20**	**PS > 0,5**
Общие требования		бесцветная, прозрачная и не содержит нерастворенных веществ		
Значение pH при 25 °C		10,5 до 12	10,5 до 11,8	10 до 11[*1][*2]
Кислотность ($K_{S8,2}$)	ммоль/л	1 до 12[*3]	1 до 10[*3]	0,1 до 1,0[*1]
Электропроводимость при 25 °C	мкС/см	< 6000[*3]	см. рис. C.5-3[*3]	< 1500
Фосфат (PO_4)	мг/л	10 до 20	10 до 20	6 до 15
Кремниевая кислота (SiO_4)[*4]	мг/л	в зависимости от давления, см. рис. C5.-4		

Комментарий к рис. C.5-2

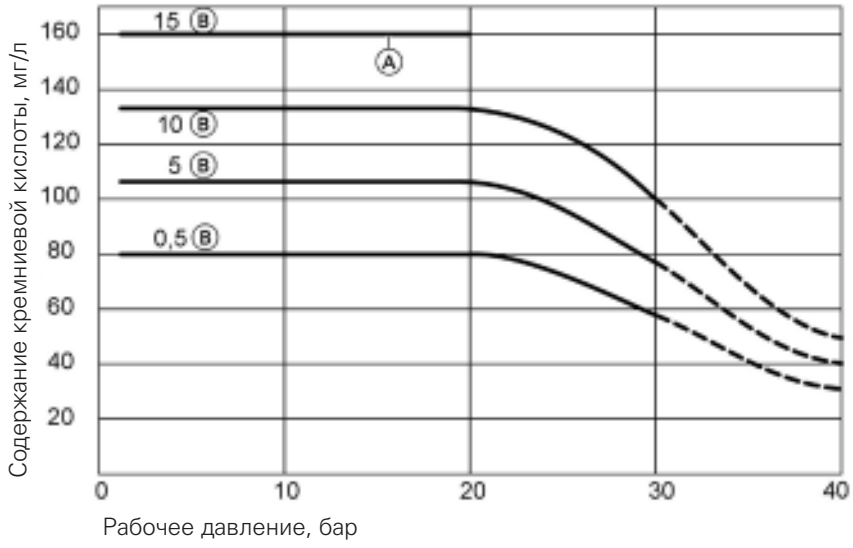
См. Инструкцию по проектированию «Качество воды для паровых котельных установок».
Приложение A.3.

Рис. C.5-3: Максимальный уровень электропроводимости котловой воды



Максимально допустимый уровень электропроводимости котловой воды в зависимости от давления.

Рис. C.5-4: Максимальное содержание кремниевой кислоты



Ⓐ Этот уровень щелочности уже недопустим > 20 бар
Ⓑ Кислотность $K_{S\,8,2}$ – значение в ммоль/л

Максимально допустимое содержание кремниевой кислоты (SiO_2) в котловой воде в зависимости от давления.

C.5.1. Химическая водоподготовка

Уменьшение жесткости воды путем ионного обмена

В воде растворены в форме ионов такие щелочноземельные металлы, как кальций и магний. Их называют солями жесткости. В процессе эксплуатации котла при нагревании эти соединения образуют твердые отложения (накипь) на поверхностях нагрева.
Накипь препятствует теплопередаче от продуктов сгорания к теплоносителю. На первом этапе это приведет к слишком высоким температурам уходящих газов, а значит, и к снижению КПД. При последующем увеличении толщины накипи недостаточное охлаждение поверхностей нагрева может спровоцировать их разрушение. По этой причине нормы и стандарты требуют умягчения питательной воды.

Процесс образования накипи, например, карбоната кальция $CaCO_3$, при нагревании:

$$Ca(HCO_3)_2 \text{ ----> } CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

Для снижения жесткости воды применяются устройства с ионообменной смолой (катионитом). Катионит представляет собой синтетическую смолу в виде гранул шарообразной формы с активными группами в виде ионов натрия для процесса умягчения воды. При прохождении жесткой воды через катионит ионы натрия замещаются ионами кальция и магния, растворенными в воде. Таким образом, из воды удаляются вредные для работы котла соли жесткости.
При истощении катионита, когда практически все ионы натрия заменены на ионы кальция и магния, он подлежит регенерации раствором хлорида натрия (каменной солью). Ионы натрия в избытке пропускаются через катионит и замещают осевшие ионы кальция и магния, приводящие к образованию солей жесткости, после чего он вновь готов к применению. Этот процесс может повторяться неограниченное количество раз.

Умягчение:

$$2R - Na^+ + Ca^{++}/Mg^{++} \text{ ---> } R2 - Ca^{++}/Mg^{++} + 2Na^+$$

Регенерация:

$$R2 - Ca^{++}/Mg^{++} + 2Na^+ \text{ ---> } 2R - Na^+ + Ca^{++}/Mg^{++}$$

R = катионит

Как правило, различают три критерия регенерации катионита при эксплуатации:
- по времени: периодически по четко заданным промежуткам времени;
- по количеству: по четко заданному количеству воды, проходящей умягчение;
- по качеству: постоянный контроль качества питательной воды.

Установки умягчения могут быть как с одной ионообменной колонной, так и с двумя ионообменными колоннами.
Установки с одной ионообменной колонной предусмотрены для прерывистого режима, т.е. во время фазы регенерации (несколько часов) вода не умягчается.
Для непрерывного режима работы обязательно применение установок с двумя ионообменными колоннами.

Компания VIESSMANN в своей программе поставок предлагает устройства для снижения жесткости воды с двумя ионообменными колоннами различных производительностей. Модуль для снижения жесткости воды представляет собой полностью смонтированную комплектную установку, состоящую из двух ионообменных колонн, бака-солерастворителя и системы управления (рис. C.5.1-1).

Периодичность регенерации по количеству умягчяемой воды задается при вводе в эксплуатацию и определяется на основе ионообменной емкости конкретной установки и жесткости исходной воды.
Установка умягчения работает в полностью автоматическом режиме и требует лишь периодического пополнения запасов каменной соли для процесса регенерации.
Так как имеется две ионообменных колонны, то вне зависимости от режимов работы для процесса умягчения всегда имеется в распоряжении одна ионообменная колонна В это время вторая ионообменная колонна находится в режиме регенерации или резерва.

Рис. C.5.1–1: Химическая водоподготовка (ХВО)



Установка умягчения воды с двумя ионообменными колоннами.

Декарбонизация (удаление двуокиси углерода)

Если в воде наряду с катионами жесткости Ca^{2+} и Mg^{2+} содержатся анионы HCO_3 (так называемая m-щелочность или щелочность по метилоранжу), соответствующая доля гидрокарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$ и магния $Mg(HCO_3)_2$ может быть удалена методом водовод-катионирования с помощью слабокислого катионита. Высвобождающаяся при этом углекислота (CO_2) выводится деаэратором (дегазатором). При этом общее солесодержание уменьшается на величину карбонатной жесткости исходной воды.
В заключение, для получения питательной воды требуемого качества оставшуюся часть солей жесткости (постоянная жесткость) необходимо удалить посредством Na-катионирования с использованием сильнокислотного катионита.

C.5.2. Обессоливание воды обратным осмосом

В последние годы для снижения жесткости воды все чаще применяются устройства обратного осмоса (рис. C.5.2-1). Осмос представляет собой физический процесс без применения химических реагентов, что очень важно для охраны окружающей среды. Выход обессоленной воды (пермеата) составляет порядка 80% от исходного количества воды.
В процессе осмоса исходная необработанная вода под давлением около 30 бар пропускается через мембрану. Поры полупроницаемой мембраны пропускают молекулы воды (диффузия), а растворенные соли остаются на входной стороне мембраны и удаляются из установки.

Следует учесть, что при обессоливании обратным осмосом сырая (необработанная) вода должна очищаться от механических примесей с помощью фильтра тонкой очистки и проходить дополнительную химическую обработку антискалантом (ингибитором отложений). Данные мероприятия позволяют избежать быстрого снижения производительности вследствие засорения мембран.

Устройства обессоливания воды обратным осмосом должны по возможности работать непрерывно и поэтому, как правило, оснащены буферной емкостью для обессоленной воды (пермеата).

Рис. C.5.2–1: Установка для обессоливания воды обратным осмосом



Рис. C.5.3.1–1: Термическая водоподготовка



Полная термическая деаэрация.

Рис. C.5.3.1–2: Термическая водоподготовка



Полная термическая деаэрация.

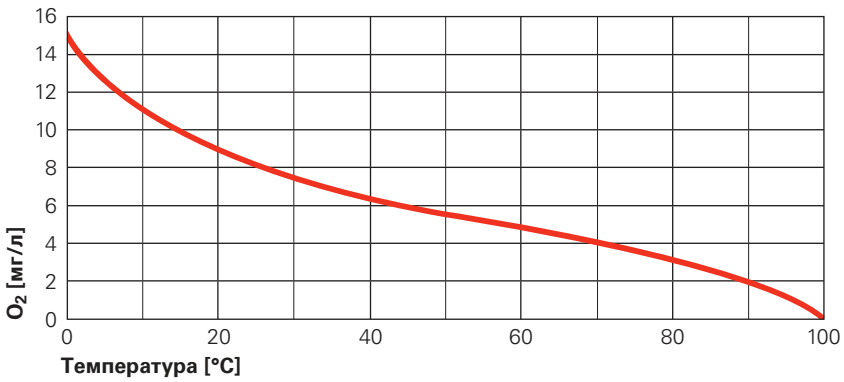
C.5.3. Термическая водоподготовка

Вода может содержать только определенное количество газа. Растворимость газов в жидкости определяется по закону Уильяма Генри (английский химик, 1775 – 1836 гг.) в зависимости от парциального давления газа и температуры воды. Так, при температуре 25 °C вода содержит около 8 мг O_2 на 1 кг.

При нагреве воды растворимость газов уменьшается. (см. рис. C.5.3.1-3 и C.5.3.1-4). Если вода испаряется (превращается в пар) – что и происходит в паровых котлах – все растворенные газы высвобождаются. Чаще всего при этом газы вступают в новые соединения. Свободный кислород, например, может вступать в реакцию с ферритной сталью котла. В паровых котлах такие соединения приводят к самой опасной точечной (сквозной) коррозии.

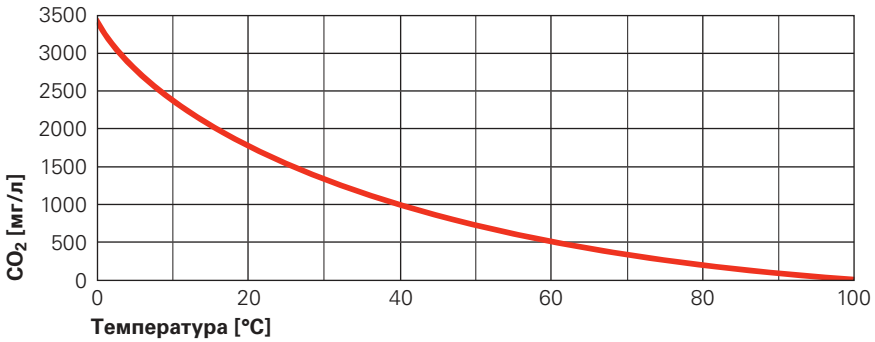
Особенно на входе питательной воды за короткое время может возникнуть точечная коррозия. Поэтому очень важно удалять газы из питательной воды котла. Надежным средством для этого является термическое удаление газов из питательной воды.

Рис. C.5.3.1–3: Растворимость кислорода



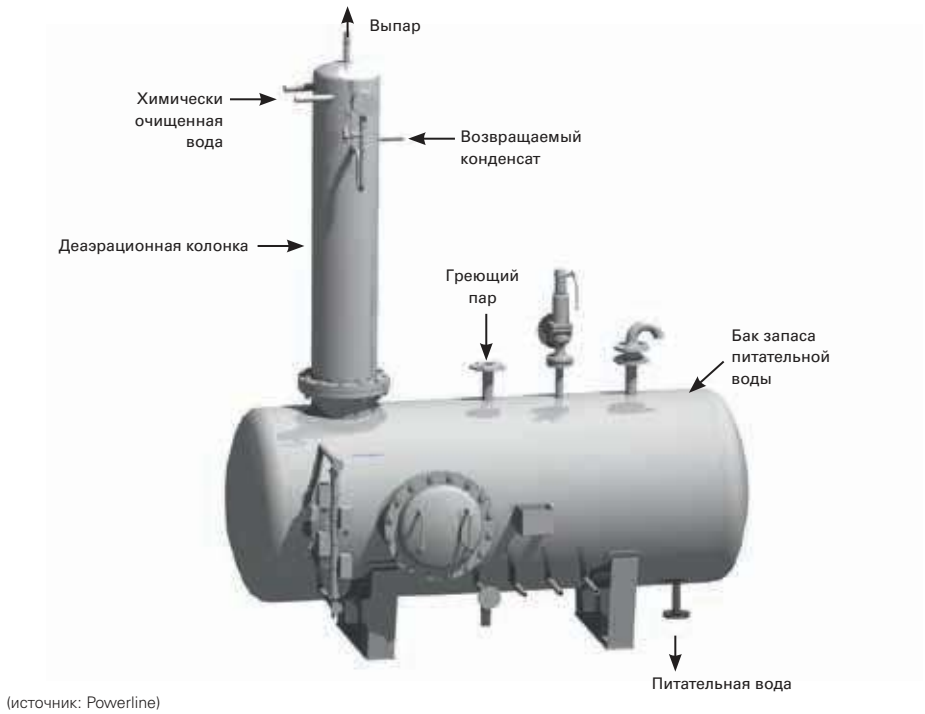
Растворимость кислорода в чистой воде в зависимости от температуры при давлении 1 бар.

Рис. C.5.3.1–4: Растворимость углекислого газа



Растворимость углекислого газа в чистой воде в зависимости от температуры при давлении 1 бар.

Рис. C.5.3.1–1: Установка полной деаэрации



(источник: Powerline)

C.5.3.1. Полная деаэрация

Полная термическая деаэрация является наиболее эффективным способом для удаления растворенных в питательной воде газов. В деаэраторе (рис. C.5.3.1-1) за счет нагрева питательной воды до температуры, близкой к температуре насыщения, происходит глубокая деаэрация, удаление всех растворенных в ней газов.
Параллельно деаэрации паром низкого давления происходит также поддержание температуры воды на уровне ок. 105 °C, чтобы избежать повторного поглощения газов водой.
Следует учесть, что, кроме химически очищенной воды, деаэрации должен быть подвергнут также возвращаемый конденсат.

Процедура полной деаэрации в большинстве случаев зарекомендовала себя как наилучший метод. Под «полной деаэрацией» всегда понимается деаэрация при небольшом избыточном давлении (от 0,1 до 0,3 бар / пониженное давление).

Термин «пониженное давление» относится к процессам, происходящим под давлением, немного превышающим давление окружающей среды. При избыточном давлении полностью исключен контакт питательной воды с атмосферой и повторное растворение газов в воде.

Установка для полной деаэрации состоит из деаэрационной колонки и бака запаса питательной воды. Деаэрационная колонка монтируется на баке запаса питательной воды (рис. C.5.3.2-2).

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству питательной воды, применяются термические деаэраторы различных модификаций. Информация по требованиям к качеству котловой воды представлена на рис. C.5-1 и C.5-2 (раздел C.5). Соблюдение приведенных граничных показателей является гарантией надежной и экономичной эксплуатации котельной установки.

Для паровых жаротрубных котлов с большим водяным объемом в зависимости от давления необходимо поддерживать в питательной воде концентрацию O_2 в пределах от 0,02 до 0,05 мг/л.

C.5.3.2. Частичная деаэрация

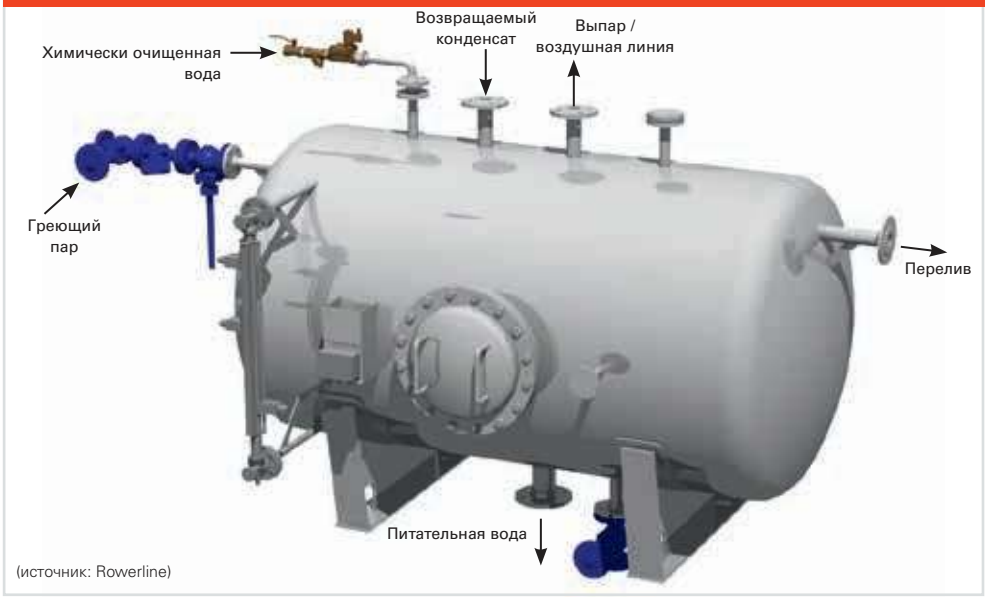
Под термином «частичная деаэрация» понимается деаэрация, осуществляемая при атмосферном давлении. В установках частичной деаэрации поддерживается постоянная связь с атмосферой посредством вытяжной линии. Частичная деаэрация является самой простой формой термической подготовки питательной воды.

Установка частичной деаэрации (рис. C.5.3.2-1) оснащена устройствами распределения и орошения для подводимой химочищенной воды и возвращаемого конденсата. Подача пара осуществляется с помощью барботажной трубы, встроенной в нижней центральной части емкости.

Регулирование подачи пара в самом простом случае осуществляется с помощью механического термостата (настройка: > 90 °C).
Регулирование подачи химочищенной воды осуществляется электрическим регулятором уровня. Установки частичной деаэрации применяются прежде всего в котлах малой мощности и низкого давления.

При выборе данного вида деаэрации следует учесть несколько повышенную потребность в химических реагентах для связывания оставшегося в воде кислорода (см. раздел C.5.1 – «Химическая водоподготовка»).

Рис. C.5.3.2–1: Установка частичной деаэрации



(источник: Roverline)

Рис. C.5.3.2–2: Установка частичной деаэрации



Самой распространенной разновидностью деаэратора является **струйная деаэрационная колонка.**

В струйной деаэрационной колонке возвращаемый конденсат и химически очищенная вода приводятся в тонкодисперсное состояние с помощью, так называемых, тарелок или насадок, обеспечивающим большую площадь поверхности контакта воды и пара, необходимую для качественной деаэрации. Тарелки располагаются каскадом, поэтому нагрев воды и отвод высвобожденных газов осуществляется ступенчато.

Особенно эффективной оказалась усовершенствованная конструкция струйной деаэрационной колонки с подводом греющего пара непосредственно в колонку и дополнительной встроенной ступенью дегазации (двухступенчатая деаэрация). Во избежание коррозии абсолютно все современные деаэрационные колонки изготавливаются из нержавеющей стали. Бак запаса питательной воды служит резервом необходимого количества питательной воды. Бак соединен с деаэратором через так называемую горловину бака.

Для приема и распределения пара бак запаса питательной воды оснащен барботажной трубой. Подводимый пар нагревает питательную воду до температуры 102 °C. Барботажная труба жестко вмонтирована в нижней части по центру бака. При одноступенчатой деаэрации пропускная способность барботажной трубы рассчитана на общий расчетный расход пара, необходимый для деаэрации. При двухступенчатой деаэрации барботажная труба служит для поддержания в нагретом состоянии запаса питательной воды.

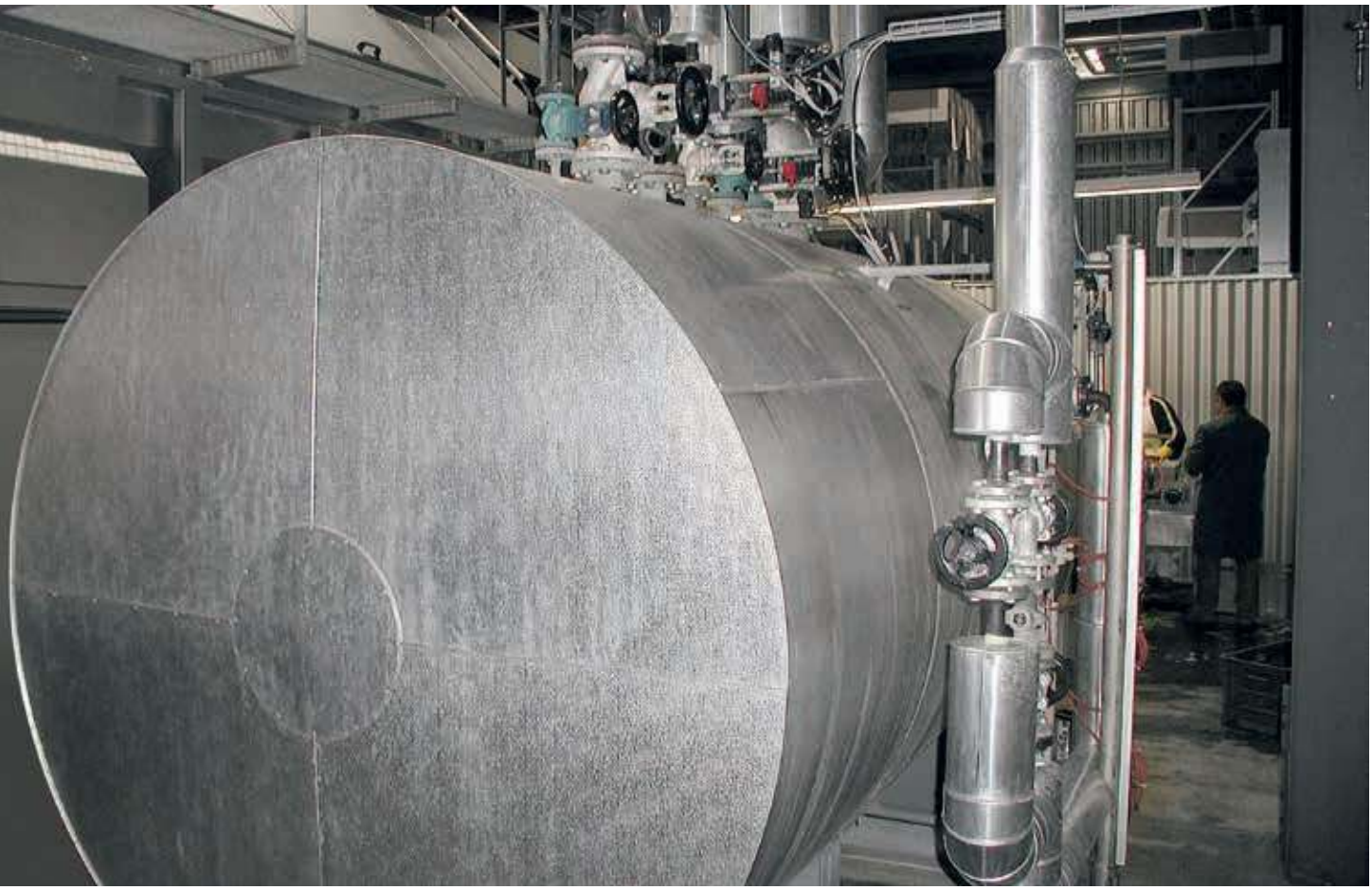
Рис. C.5.3.2–3: Термическая водоподготовка с насосами питательной воды



Бак запаса питательной воды с установленной на нем деаэрационной колонкой.

Для каждого рассмотренного варианта частичное охлаждение питательной воды и связанное с этим обратное растворение газов полностью исключаются.

Бак запаса питательной воды (рис. C.5.3.2-3) оснащен арматурой регулирования подачи пара и уровня заполнения, арматурой безопасности, а также показывающими приборами для управления и контроля.



Конденсатное хозяйство

В зависимости от технологических процессов с использованием водяного пара, пар может подаваться и использоваться непосредственно в продукте или технологическом процессе. В таких случаях возврат конденсата невозможен.

В преобладающем большинстве технологических процессов пар, отдавая свое тепло через теплообменную поверхность, конденсируется. Конденсат возвращается в паровую котельную для повторного использования.

Технологически различают два типа систем сбора и возврата конденсата.

- C.6.1. Открытые системы сбора конденсата.
- C.6.2. Закрытые системы сбора конденсата.

C.6.1. Конденсат низкого давления

В 90% всех паровых котельных возврат конденсата осуществляется через открытые баки сбора конденсата. При рабочей температуре свыше 100 °C происходит вторичное вскипание конденсата.
В результате вторичного вскипания теряется от 5 до 15% конденсата (в зависимости от давления).

Наряду с потерей энергии происходит также потеря воды, которая должна быть восполнена путем подачи свежей воды, прошедшей соответствующую водоподготовку. В открытых системах конденсат поглощает кислород из воздуха, что может привести к коррозии конденсатной системы.

Рис. C.6.1–1: Бак сбора конденсата



C.6.2. Конденсат высокого давления

В конденсатных системах высокого давления возврат конденсата осуществляется через закрытые баки сбора конденсата (около 10% работающих паровых котельных установок), т. е. используется закрытая система сбора конденсата. При таких условиях потери за счет вторичного вскипания конденсата не возникают. Также не происходит попадания кислорода из воздуха в систему сбора конденсата.

Подобные системы рационально применять в том случае, когда они работают с избыточным давлением как минимум 5 бар и с постоянным возвратом конденсата в достаточно больших объемах. Необходимо учесть, что все трубопроводы, арматура, насосы и баки работают под давлением и подлежат расчету.

Емкости (например, баки сбора конденсата (рис. C.6.2-1), баки запаса питательной воды) представляют собой сосуды под давлением и подлежат контролю специализированными органами надзора.

При проектировании новых установок или при модернизации существующих необходимо заранее определить, какая из систем должна быть применена.

Благодаря правильно запроектированному конденсатному хозяйству, а также использованию пара вторичного вскипания можно существенно снизить эксплуатационные затраты котельной.

Рис. C.6.2–1: Бак сбора конденсата



Бак сбора конденсата.

C.6.3. Подготовка конденсата

Конденсат может быть загрязнен посторонними примесями вследствие каких-либо технологических или коррозионных процессов. Так как конденсат применяется повторно в качестве питательной воды, он должен отвечать соответствующим требованиям к качеству воды.

Конденсат может быть загрязнен вследствие:

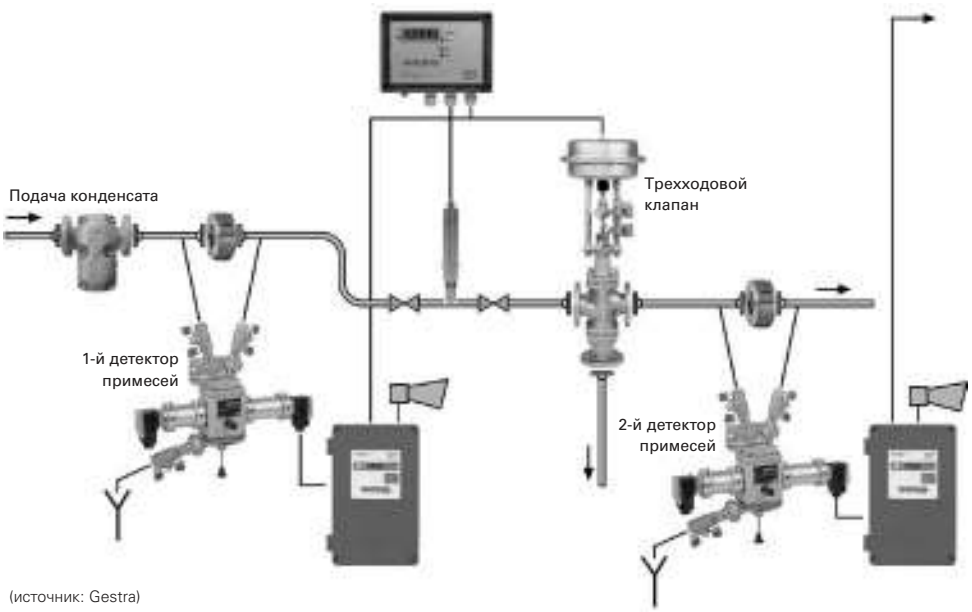
- попадания механических примесей (продукты коррозии);
- утечки сырой или технической воды в теплообменниках;
- попадания кислот или щелочей (случайные примеси при нагревании кислотных или щелочных ванн);
- попадания масел, жиров, нефтепродуктов (пищевая промышленность, подогрев масел и нефтепродуктов).

Различают две группы загрязнений, первая – это те, которые увеличивают электропроводимость, например, кислоты, щелочи, необработанная вода и т. п. и вторая – такие вещества, как, например, масла, жиры, нефтепродукты, сыворотки и т. п.

Для веществ, которые увеличивают электропроводимость, контроль осуществляется системой, измеряющей электропроводимость. Для масел, жиров, нефтепродуктов и т. п. применяются фотооптические измерительные системы, так называемые детекторы примесей масел и мутности. На сегодняшний день обе системы испытаны и допущены к применению согласно WÜ100.

В режиме эксплуатации без постоянного присутствия обслуживающего персонала в течение 72 часов (BosB 72h) контроль конденсата на содержание в нем примеси масел необходимо осуществлять в максимальном объеме. С этой целью за трехходовым сбросным клапаном устанавливается второй детектор примесей. Основание: таким способом контролируется работа трехходового клапана. Внимание: при срабатывании второго детектора необходимо, чтобы горелки и насосы были аварийно отключены для защиты сосудов по ходу загрязненного конденсата вплоть до котлов от попадания в них загрязнений. Трехходовой клапан рекомендуется применять пневматический, так как в случае сбоя (например, дефект мембраны) пневматические вентили переходят в безопасное положение, также они имеют высокое быстродействие.

Рис. C.6.3–1: Контроль за загрязнением конденсата



(источник: Gestra)

C.6.4. Охладитель проб

Контроль химически или термически подготовленной питательной воды осуществляется путем взятия проб. В случае необходимости производится коррекция ее качества с помощью химических реагентов.

При режиме эксплуатации без постоянного присутствия персонала в течении 24 часов химический анализ питательной воды котла должен производиться 1 раз в сутки, а при режиме эксплуатации без постоянного присутствия персонала в течении 72 часов – каждые 3 суток.

С помощью охладителя проб (рис. C.6.4-1) питательная и котловая вода охлаждается и снижается ее давление. Только после этого может быть произведен анализ воды. Это испытанный и надежный способ контроля за качеством воды, однако он связан с человеческим фактором и потенциальными ошибками при эксплуатации. Поэтому компания Viessmann разработала собственную концепцию с использованием устройств для проведения анализов воды, чтобы минимизировать риски повреждения котельного оборудования вследствие ненадлежащего качества воды.

В зависимости от потребностей установки объемы химического анализа воды могут быть расширены или сокращены.

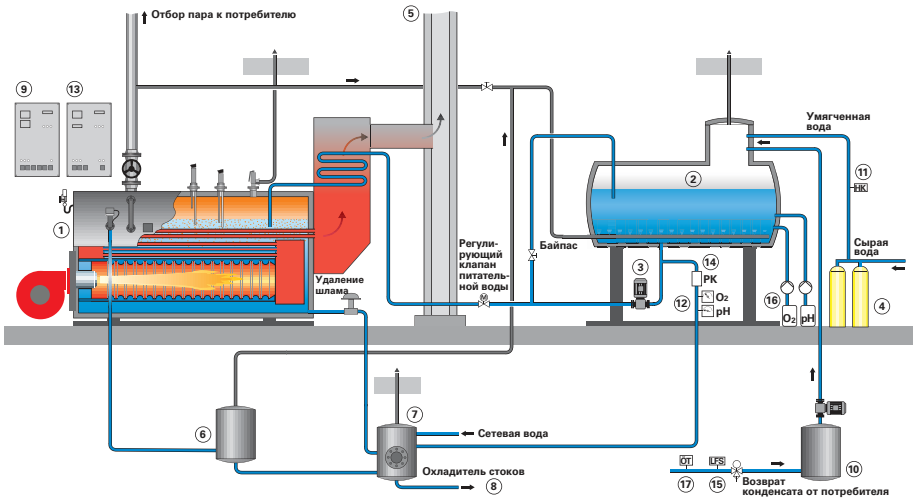
Рис. C.6.4–1: Охладитель проб



Рис. C.6.4–2: Химический анализ воды



Рис. C.6.4–4: Вариант компоновки



1. Паровой котел с горелкой
2. Термическая водоподготовка
3. Питательный насос котла
4. Установка умягчения
5. Дымовая труба
6. Сепаратор непрерывной продувки
7. Охладитель стоков
8. Слив в канализацию
9. Электрощит управления котлом
10. Бак сбора конденсата
11. Контроль жесткости
12. Измерение показателей O_2 и pH
13. Общекотельный электрощит с SPS (контролером) и возможностью съема эксплуатационных параметров внешней системой
14. Охладитель проб для химического анализа воды
15. Измерение электропроводимости
16. Дозатор корректирующих химических реагентов
17. Контроль содержания масел и нефтепродуктов

C.6.5. Дозировка корректирующих химических реагентов

Для регулирования щелочности, для связывания остаточной жесткости и остаточного кислорода в питательной воде (прошедшей ионообменный процесс или обратный осмос) добавляются корректирующие химические реагенты.

Для этой цели специализирующиеся на водоподготовке фирмы предлагают широкий выбор реагентов, технология применения которых должна быть в обязательном порядке согласована с ними.

Компания VIESSMANN поставляет комплектные дозирующие станции, как правило, вместе с термической водоподготовкой.

Рис. C.6.5–1: Дозирующая станция





Насосы

Питательные насосы обеспечивают паровой котел питательной водой в соответствии с требуемой паропроизводительностью.

Различают позиционное и плавное регулирования уровня воды в котле. При этом контролируемой величиной является уровень заполнения парового котла.

C.7.1. Требования к питательным насосам

Питательные устройства (как правило, это насосы 2 x 100%) должны надежно компенсировать «потери воды», возникшие вследствие отбора пара, а также проведения непрерывной и периодической продувок. К их подбору (по напору и расходу) предъявляются повышенные требования согласно TRD 401, 402 и 802.

C.7.1.1. Позиционное регулирование уровня

Уровень воды поддерживается между двумя фиксированными отметками уровня «насос включен» и «насос выключен». Сигналы от электродов уровня воздействуют на питательный насос (периодическое включение и выключение).

Позиционное регулирование уровня может рассматриваться как самое простое решение для паровых котлов без экономайзера паропроизводительностью до 3 т/ч. Для паровых котлов паропроизводительностью более 3 т/ч или с экономайзером данный вариант не рекомендуется.

C.7.1.2. Плавное регулирование уровня с помощью регулирующего клапана питательной воды и байпаса (опционально)

Целью регулирования является поддержание в котле постоянного уровня, приближенного к заданному значению. Текущий уровень непрерывно фиксируется датчиком уровня и сравнивается с заданным в регуляторе значением.
При изменениях нагрузки на котел поддержание заданного уровня воды осуществляется за счет открытия или закрытия регулирующего клапана питательной воды.

Посредством отдельной дросселируемой линии определенное количество воды возвращается в бак запаса питательной воды. Этот байпас служит для защиты насоса от понижения расхода ниже допустимого минимального значения для насоса.

Рис. C.7.1.1–1: Вариант 1

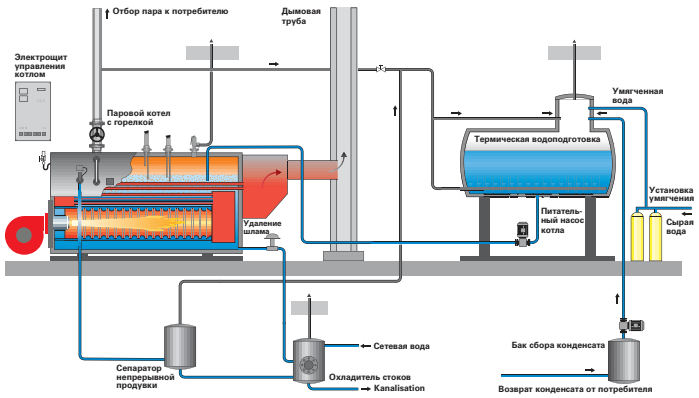
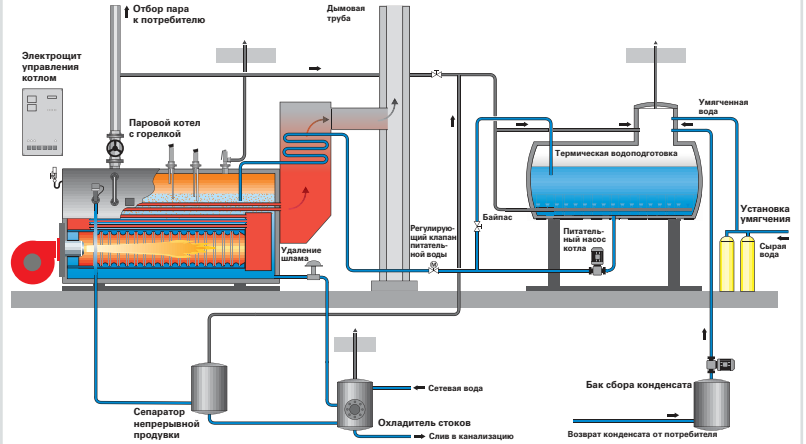


Рис. C.7.1.2–1: Вариант 2



C.7.1.3. Плавное регулирование уровня с помощью регулирующего клапана питательной воды с перепускной линией

В данном случае речь идет об альтернативе к варианту 2, при этом оба клапана (регулирующий клапан питательной воды и байпасный клапан) объединены в одну конструкцию.

Как только расход основной расход, идущий в котел, становится меньше граничного значения для питательного насоса, открывается перепускная линия (байпас) регулирующего клапана, защищая питательный насос по минимальному протоку воды.

Рис. C.7.1.3–3: Вариант 3

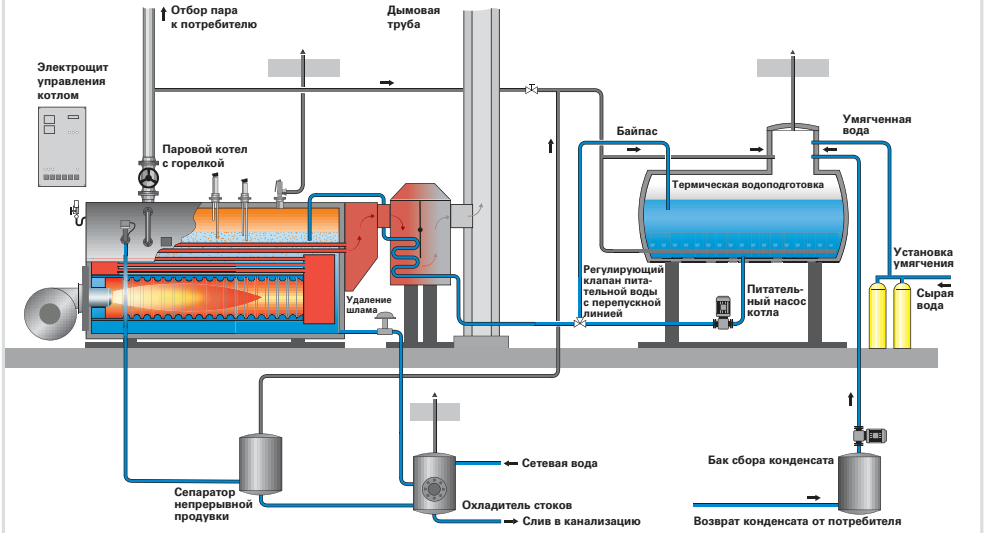


Рис. C.7.1.2–2: Регулирующий клапан питательной воды с перепускной линией (байпасом)



(источник: RTK)

C.7.1.4. Плавное регулирование уровня с помощью частотного регулирования насоса

Целью регулирования является поддержание постоянного уровня в котле, приближенного к некому установленному значению. При изменении нагрузки для достижения необходимой отметки производительность насоса корректируется в соответствии с изменившимися условиями с помощью преобразователя частоты. Благодаря такой корректировке частоты экономится электроэнергия, а также можно отказаться от регулирующей арматуры перед котлом.

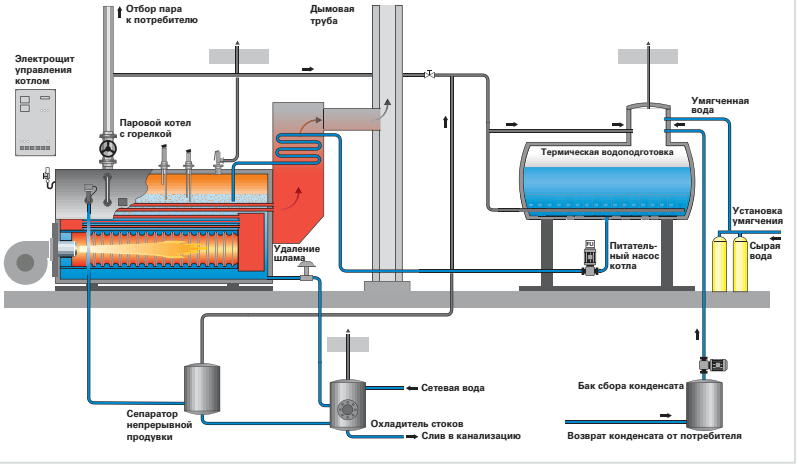
Внимание. Диапазон регулирования расхода питательной воды должен быть как минимум таким же, как и диапазон модуляции мощности горелки.

C.7.1.5. Регулирование уровня при резких изменениях паропроизводительности (трехкомпонентное регулирование)

При большой скорости изменения нагрузки по пару, при которой описанные выше методы регулирования уровня воды окажутся слишком медленными из-за своей инерционности, возможно применить метод, при котором измеряемые показания расхода пара оказывают такое влияние на работу регулирующего клапана питательной воды, чтобы подаваемое количество питательной воды соответствовало стремительно возрастающей потребности в паре.

Также имеет смысл сбалансировать расходы воды и пара для возможности максимально быстрого реагирования на изменения нагрузки. В этом случае со стороны воды, а также со стороны пара производится измерение расхода с балансированием и формированием соотвествующего управляющего воздействия на регулирующий клапан питательной воды. При этом расход пара является определяющей величиной.

Рис. C.7.1.4–4: Вариант 4



C.7.2. Конденсатные насосы

Конденсатные насосы (как правило, это насосы 2 x 100%) в зависимости от ситуации должны обеспечивать перекачивание конденсата, поступающего от потребителя и из системы (в зависимости от потребности паровой котельной установки прерывисто и/или плавно). Требуемая величина напора зависит от давления в баке сбора конденсата, потерь давления в трубопроводах, а также от плотности перекачиваемого конденсата (зависит от температуры).

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{p \times g}$$

$$\Delta p \text{ (бар)} \quad \frac{H}{м^2}$$

$$p \quad \frac{кг}{м^3}$$

$$g{:}9{,}81 \text{ м/с}^2$$

Примечание

Применение насоса с частотным регулированием только тогда целесообразно, когда диапазон регулирования насоса больше или равен 1:4, а также диапазон регулирования расхода питательной воды как минимум такой же, как и диапазон модуляции мощности горелки.

Другие преимущества насоса с частотным регулированием (насосы с ЧП):

- плавное включение/выключение (отсутствие скачка давления при включении или выключении насоса);
- гидравленическая характеристика NPSH (значение NPSH центробежного насоса падает при малых частотах, благодаря чему снижается вероятность кавитации).



Вспомогательное тепловое оборудование

Вспомогательное тепловое оборудование обеспечивает функциональность паровой котельной.

Описанные здесь компоненты являются необходимыми составляющими паровой котельной. В зависимости от концепции установки может возникнуть необходимость в другом, не описанном здесь оборудовании.

C.8.1. Охладитель стоков

Охладитель стоков предназначен для сбора всех находящихся под давлением и горячих сточных вод.
В охладителе стоков давление сточных вод понижается до атмосферного. Отвод вторичного пара из охладителя стоков осуществляется непосредственно в атмосферу.

Посредством подводимой через встроенную перфорированную трубку охлаждающей воды (из водопровода) сточные воды охлаждаются до температуры 30 – 35 °C.

Рис. C.8.1–1: Охладитель стоков



C.8.2. Сепаратор непрерывной продувки и охладитель непрерывной продувки

Сепаратор непрерывной продувки предназначен для разделения на воду и пар паро-водяной смеси, образующейся из продувочной воды котла при снижении ее давления до ок. 0,5 бар с последующим использованием тепла воды и пара.

Пар вторичного вскипания используется в деаэраторах в качестве греющей среды, а щелочной раствор, прежде чем поступить в охладитель стоков, нагревает в противотоке умягченную воду в охладителе непрерывной продувки.

Рис. C.8.2–1: Сепаратор непрерывной продувки



C.8.3. Охладитель выпара

Охладитель выпара (как правило, это пластинчатый теплообменник «пар/вода») служит для конденсации поступающего из деаэратора выпара низкого давления (водяного пара).

Выделяемая теплота возвращается в систему через теплообменник, в котором нагревается питательная вода и/или конденсат.

Решение о применении охладителя выпара принимается из соображений экономической целесообразности.

Рис. C.8.3–1: Охладитель выпара

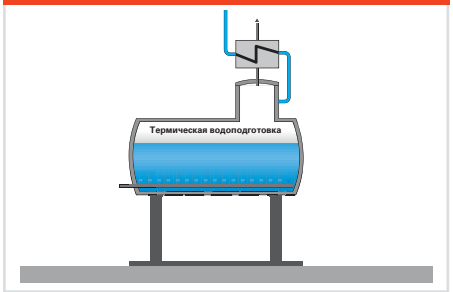


Рис. C.8.3–2: Схема (охладитель выпара)

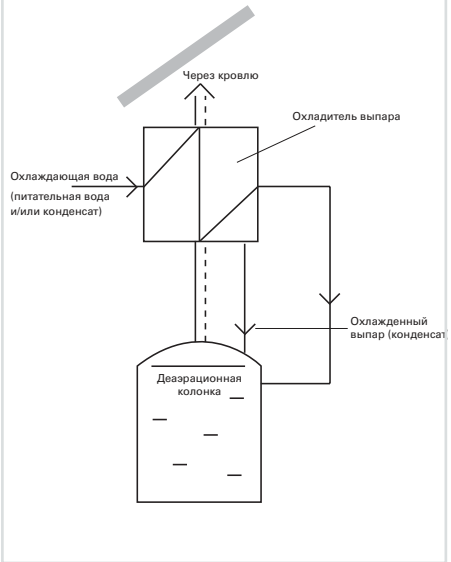
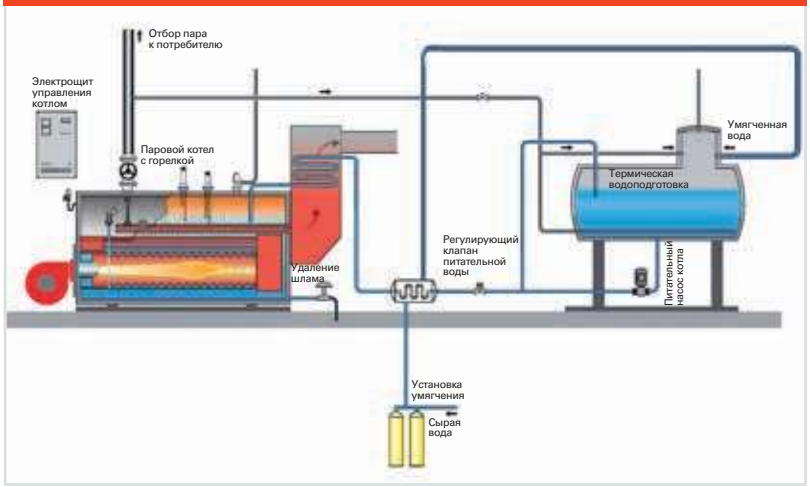


Рис. C.8.4–1: Охладитель питательной воды



C.8.4. Охладитель питательной воды

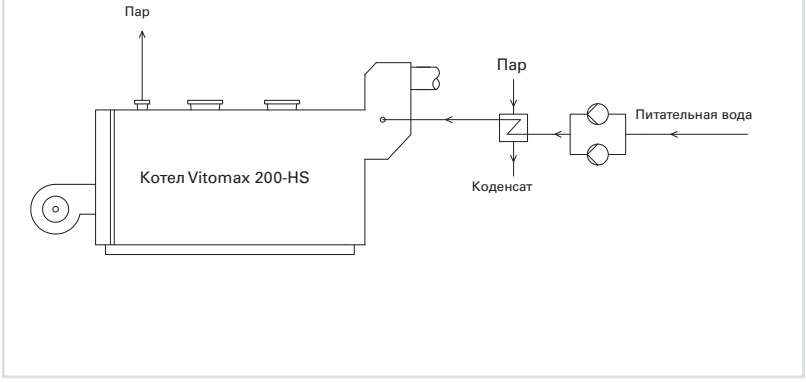
Охладитель питательной воды (как правило, это пластинчатый теплообменник «вода/вода») служит для понижения температуры питательной воды (обычно до ≤ 100 °C) перед входом в экономайзер.

Снижение температуры питательной воды на входе в экономайзер приводит к снижению температуры уходящих газов и повышению КПД котельной установки, а в случае глубокого охлаждения позволяет использовать скрытую теплоту.

Для охлаждения следует применять химически очищенную воду из установки химической водоподготовки до поступления ее деаэратор.

Решение о применении охладителя питательной воды принимается из соображений экономической целесообразности.

Рис. C.8.5–1: Нагрев питательной воды



C.8.5. Нагреватель питательной воды

При применении экономайзера совместно с такими видами топлива, как сернистое жидкое топливо, мазут и т. п., ни в коем случае нельзя допускать понижения температуры продуктов сгорания ниже температуры точки росы в котле и экономайзере. Для того, чтобы избежать этого, перед входом в экономайзер питательная вода нагревается в теплообменнике до 130 °C. Нагрев происходит, например, в паро-водяном теплообменнике или нагревательном регистре в котле, в зависимости от специфики объекта. Таким образом, в данном случае за счет снижения КПД обеспечивается долговечность экономайзера.

Рис. C.8.5–2: Паровая котельная



Pfizer Animal Health
Louvain-La-Neuve
Бельгия
2 x 3,2 т/ч.



Система трубопроводов

Все необходимые для транспортировки рабочих сред трубопроводы, арматуру, паровые распределительные коллектора и дренажные системы следует рассматривать как компоненты котельной.

В основном здесь речь идет об описанных далее (см. раздел D.8) основных трубопроводах (≥DN25) для таких рабочих сред:

- пар и конденсат;
- выпар и вторичный пар;
- питательная и сырая вода;
- сточные воды;
- жидкое топливо и газ;
- дымовые газы.

Рис. C.9–1: Магистральный паропровод



Рис. C.9.1-2: Паровой распределительный коллектор





Ahlstrom Malmédy, Бельгия
14 т/ч 13 бар.

Отвод продуктов сгорания

Система отвода дымовых газов служит для удаления продуктов сгорания. Кроме дымовой трубы к этой системе относят также все без исключения соединительные газоходы между котлом и дымовой трубой, а также такие необходимые элементы, как, например, шумоглушитель и запорная заслонка.

Система удаления дымовых газов состоит, как правило, из:

- дымовой трубы;
- газоходов с необходимыми комплектующими (например: заслонкой дымовых газов, компенсатором и, если необходимо, шумоглушителем);
- устройства постоянного контроля выбросов вредных веществ в атмосферу с площадкой обслуживания (если необходимо); измерительного и калибровочного патрубков;
- лючков для чистки и обслуживания;
- при необходимости нейтрализатора конденсата, образующегося из дымовых газов.

Основанием для проектирования и исполнения является предполагаемый объемный расход продуктов сгорания, а также обязательные требования технических инструкций по обеспечению чистоты воздуха и/или Федерального закона о выбросах вредных веществ в атмосферу (BImSchV) и, при необходимости, действующих в других странах норм и правил.

Необходимо предусматривать места отбора проб для проведения анализа параметров продуктов сгорания. При этом для получения объективных результатов по параметрам отходящих газов необходимо исключить присосы воздуха, которые могут существенно исказить результаты замеров. Точки замеров могут располагаться как в газоходах, так и в самой дымовой трубе.

Рис. C.10–2: Шумоглушитель отходящих газов в паровой котельной



Шумоглушитель отходящих газов в паровой котельной (2 x 18 т/ч 20 бар).

Рис. C.10–1: Отвод дымовых газов (Dingolfing)



Примечание

Необходимый объем контроля для определения эмиссии вредных веществ в атмосферу назначается соответствующими органами.

Следует исходить из того, что будут необходимы замеры выбросов NO_x, SO_2, CO, золы и/или сажи.



Собственные потребности паровой котельной

Ниже будут рассмотрены собственные энергетические нужды котельной.

Для работы паровой котельной
для собственных нужд требуется пар,
электроэнергия, топливо и химические
реагенты для очистки воды.

C.11.1. Собственные потребности паровой котельной в электрической энергии

Собственные нужды в электроэнергии для паровой котельной определются в основном на основании мощностей двигателей главных ее компонентов.

Основными потребителями электроэнергии являются:

- вентиляторы для подачи воздуха для горения;
- вентиляторы рециркуляции дымовых газов (если имеется);
- питательные насосы котла;
- топливные насосы;
- мотор ротационной форсунки (если имеется);
- приводы запорной и регулирующей арматуры по воде и пару, клапана(-ов) уходящих газов, байпаса(-ов) экономайзера, (если имеются);
- силовые электрощиты и электрощиты управления;
- рабочее и аварийное освещение помещения котельной.

Примечание

С целью минимизации потребления электроэнергии для собственных нужд электрические приводы насосов, компрессоров и вентиляторов часто оснащаются преобразователями частоты. В рамках проектирования выбор режима эксплуатации котла обусловливает целесообразность применения преобразователей частоты (соотношение польза/затраты, см. также в разделе D.3.1 и D.6).

C.11.2. Собственные потребности паровой котельной в тепловой энергии

Большую часть собственных нужд в тепловой энергии можно представить следующей обобщенной зависимостью:

- пар для термической водоподготовки = функция от потерь при возврате конденсата, потерь вследствие непрерывной и периодической продувок, а также потерь с выпаром из деаэратора и охладителя стоков.

Упомянутые здесь массовые потери теплоносителя необходимо компенсировать подачей свежей химически очищенной воды. С увеличением объемов нагреваемой в установке для термической водоподготовки свежей химически очищенной воды возрастают и собственные нужды котельной в тепловой энергии.

Для определения собственных нужд паровой котельной в тепловой энергии, указанных выше, необходимо всегда учитывать режимы работы котельной, обусловленные потребностями потребителя.

Подходы к расчету и проектированию будут более подробно описаны в разделе D.10.



Изоляция трубопроводов, емкостей и т.п.

Изоляция служит не только для снижения потерь теплоты и защиты от ожогов, а также способствует стабилизации работы котельной.

Если бы, например, паропроводы не были изолированы, это бы привело к образованию избыточного количества конденсата в трубопроводах, а значит, и к нестабильному состоянию установки в целом.

Все, без исключения, емкости и арматура паровой котельной связаны между собой системой трубопроводов, и эти многочисленные трубопроводы следует изолировать в зависимости от параметров теплоносителя.

C.12.1. Тепловая изоляция
(см. приложение A.2)

На все трубопроводы, арматуру, аппараты и емкости необходимо наносить тепловую изоляцию с целью снижения потерь теплоты и/или для защиты от ожогов.

В качестве теплоизоляционного материала применяются:
- маты из минерального волокна (стекловолокна и керамического волокна);
- оболочки из синтетических материалов;
- вспененные синтетические материалы;
- оболочки из синтетических материалов для арматуры и трубопроводов.

Основные положения по выполнению тепловой изоляции изложены в VDI 2055 и ENEV (см. также раздел D.8.3.4).

C.12.2. Защита от образования конденсата

Холодные водопроводные трубопроводы, арматуру, установки и емкости необходимо также изолировать для предотвращения образования конденсата.

В качестве изолирующего материала применяются:
- многокомпонентная изоляция из вспененного материала и/или
- изоляция из пеностекла.

Проектирование и исполнение изоляционной конструкции является задачей специализированной организации. По этой причине изложенную в разделе D.8.3.4 и в приложении (A.2) информацию следует рассматривать как «первую помощь».



SSAO Servolux, Литва
3 шт. Vitomax 200-HS
4 т/ч 13 бар.

Устройства управления

В идеале системы управления и регулирования построены на основе свободно программируемых контролеров (нем. «SPS»).

Управление котлом, а также задание его параметров осуществляется с помощью сенсорного графического цветного дисплея (touch-screen, рис. C.13-1).

На дисплей выводится информация о функциях и состоянии системы, заданных и фактических (текущих) параметрах.

Учет числа часов работы горелки и питательных насосов производится через SPS.

У двухтопливных горелок учет числа часов работы и количества включений осуществляется отдельно для каждого вида топлива.

Рис. C.13–1: Сенсорная панель управления



Сенсорная панель управления свободно программируемого контролера электрощита управления Vitocontrol.

Все сообщения о неисправностях фиксируются и протоколируются с указанием даты и точного времени. Такая информация сохраняется в памяти контролера, документируется вся информация о неполадках и их устранении.

В системе управления (рис. 13-2) заложены все необходимые элементы для управления паровой котельной установкой.

Рис. C.13–2: Электрощит управления Vitocontrol



Электрощит управления Vitocontrol.

C.13.1. Основные функции

C.13.1.1. Управление мощностью горелки

Давление в котле измеряется датчиком давления, аналоговый сигнал от которого передается на SPS. Система управления SPS поддерживает давление в котле на уровне, заданном оператором или автоматикой более высокого уровня.
На основании разности между заданной и фактической величиной давления система регулирования определяет степень модуляции горелки или соответствующую ступень горелки в зависимости от конфигурации.

C.13.1.2. Управление уровнем воды

Интегрированное в систему SPS управление уровнем воды в паровом котле может быть реализовано либо посредством двухпозиционного регулирования, когда включается или отключается питательный насос, либо посредством непрерывного (плавного) регулирования с помощью клапана питательной воды.
Путем включения и выключения питательного насоса (насосов) или посредством дополнительного воздействия на регулирующий клапан питательной воды в котел подается такое количество воды, которое необходимо для поддержания заданного уровня.
При наличии двух питательных насосов производится поочередное их включение, а при неисправности одного из насосов подключается второй насос (функция АВР).

C.13.1.3. Электропроводность котловой воды/ управление непрерывной продувкой

Функция «непрерывная продувка» может быть также реализована с помощью SPS (опционально). Электропроводность воды измеряется с помощью электрода и в качестве аналогового сигнала передается в SPS. Требуемое значение «солесодержания» и параметры регулирования задаются через панель управления. При избыточном солесодержании открывается клапан непрерывной продувки и производится отвод солесодержащей котловой воды.

C.13.1.4. Управление периодической продувкой

Управление клапаном периодической продувки может осуществляться (опционально) через SPS в зависимости от заданных значений интервалов времени между периодическими продувками и продолжительностью открытия клапана.

C.13.1.5. Прочие функции

Управление клапаном отходящих газов и/или байпасным клапаном экономайзера, а также переключение на вторую заданную величину давления также предусмотрено в SPS.

Примечание

Возможна доукомплектация вспомогательным оборудованием согласно схеме RI приложения A.1.

Кроме того, электрощит управления содержит компоненты, которые согласно TRD 604 необходимы для автоматической работы установки (без присутствия обслуживающего персонала) в течение 24 или 72 часов. Для этого применяются компоненты «специального исполнения», требуемые для безопасной эксплуатации паровой котельной.

Примечание

«Специальное исполнение» предусматривает регулярный автоматический (внутренний) контроль электрической и механической части компонента котла или электрощита (например, для электрода уровня воды – это контроль сопротивления изоляции, для погружных устройств – автоматическая проверка функционирования, для внешних устройств – продувка соединительных трубопроводов).



Законодательная и нормативная база

Все описанные структурные элементы паровой котельной подлежат проверке уполномоченной службой технического контроля (ZÜS) или службой надзора.

Соблюдение всех норм и правил в паровой котельной является основанием для ее допуска к эксплуатации.

C.14.1. Законодательные акты

Уже в 1985 году на европейском внутреннем рынке возникла необходимость в едином техническом регулировании. До 1997 года в странах-членах Евросоюза действовали отдельные положения для производства устройств под давлением, а значит, и для паровых котлов.

29 мая 1997 года для стран-членов Евросоюза вступила в силу «Директива 97/23/EG Европейского Парламента и Совета по объединению законодательной базы стран-членов Евросоюза, регулирующей производство и эксплуатацию устройств под давлением» (Richtlinie 97/23/EG des Europáischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997) с продолжительностью переходного периода до 5 лет (в дальнейшем DGRL).

DGRL распространяется на все устройства с максимально допустимым давлением более 0,5 бар или температурой более 110 °C и объемом более 2 л. При указании объема следует помнить, что речь всегда идет об общем объеме парового котла.

На паровые котлы с рабочим давлением, не превышающим 0,5 бар, и рабочей температурой, не превышающей 110 °C DGRL, не распространяется, в этом случае применяется «Директива EG для газовых приборов 2009/142/EG» (EG-Gasgeraterichtlinie 2009/142/EG).

В DGRL отражены все процессы вплоть до запуска паровых котлов в эксплуатацию. Кроме устройств под давлением, данная директива распространяется также на все компоненты оборудования с функциями безопасности и все части оборудования под давлением.

В приложении II DGRL устройства под давлением для сжигания топлива (паровые котлы) разделены на категории (рис. C.14.1-1).
Категории III или IV подразделяются на модульные категории. С помощью модульных категорий устанавливается, какие испытания производитель может проводить самостоятельно, а какие должны проводиться уполномоченной службой технического контроля («Benannte Stelle» согласно DGRL). Паровые котлы высокого давления Vitomax 200-HS, Pyroflex FSB/FSR, а также паровые котлы низкого давления Vitomax 200-LS согласно диаграмме относятся к IV- й категории (формула: давление x объем).

Только котлы Vitoplex 100-LS (рис. C.14.1-2) (паровые котлы с допустимым рабочим давлением 1 бар) с объемом более 1000 л попадают в категорию III.

Испытания паровых котлов высокого давления IV-й категории проводятся преимущественно по модулю G. Это означает, что все испытания котлов проводятся назначенным производителем уполномоченным органом. Испытания включают в себя проверку проекта (проверку расчета элементов под давлением и конструкции с учетом норм), контроль процесса производства и сборки, испытания на прочность (испытательное давление) и заключительные (итоговые) испытания.

Уполномоченный орган после успешного завершения заключительных (итоговых) испытаний по модулю G выдает сертификат соответствия.

Рис. C.14.1–1: Диаграмма DGRL

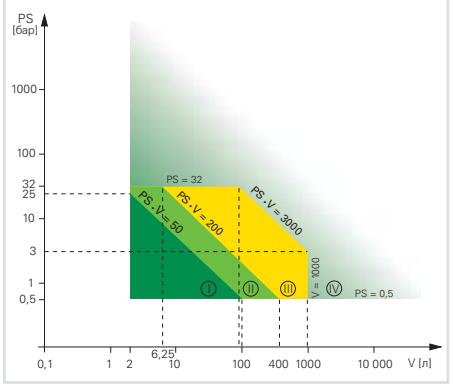


Диаграмма DGRL в соответствии с EHI (Association of the European Heating Industry, инструкция по применению устройств под давлением – директива 97/23/EG).

Примечание

Маркетинг и ввод в эксплуатацию

- Маркетинг – это первое предоставление продукта на рынок Европейского сообщества для продажи или использования на территории Европейского Союза. При продаже происходит переход рисков от производителя к конечному потребителю. Безопасность конечного потребителя должна быть защищена!
- Ввод в эксплуатацию происходит при первом использовании конечным потребителем на территории Европейского Союза. Необходимо обеспечить, чтобы продукт при вводе в эксплуатацию удовлетворял требованиям директивы.
- Если продукт впервые представлен и введен в эксплуатацию на рынке Европейского Союза, он должен соответствовать концепции директивы к новым продуктам. Страны-члены Евросоюза не вправе запрещать, ограничивать или препятствовать маркетингу и вводу в эксплуатацию продуктов, отвечающих концепции директивы, и обязаны принять все необходимые меры по обеспечению того, чтобы эти продукты не представляли опасности жизни и здоровью людей и прочих, отраженных в директиве заинтересованных сторон, а также, чтобы продукты были произведены надлежащим образом, инсталлированы, прошли техническое обслуживание, и только в этом случае они могут быть использованы по назначению.

Рис. C.14.1–2: Котел Vitoplex 100-LS



Паровой котел низкого давления, паропроизводительность от 260 до 2200 кг/ч.

Рис. C.14.1–3: Пример сертификата соответствия (паровой котел высокого давления)

Anlage zur Bedienungsanleitung
Konformitätserklärung und Herstellerbescheinigung

Wir, die Viessmann Werke GmbH & Co KG, 35107 Allendorf, erklären in alleiniger Verantwortung, dass das Produkt

Vitomax **M75A**
Herstell-Nummer

mit folgenden Normen/Regelwerken übereinstimmt:

TRD-Regelwerk
Vereinbarung 2000/1 (Dampfkessel)
Vereinbarung Dampfkessel 2003/1

Gemäß den Bestimmungen der

Richtlinie 97/23/EG

wird aufgrund der Einzelprüfung (Zertifikat-Nr. 01 202 620-G-042731-xxx-09) des befeuerten Druckgerätes durch die benannte Stelle TÜV Rheinland Group / TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, 10882 Berlin, dieses Produkt wie folgt gekennzeichnet:

CE-0035

Angaben gemäß Druckgeräterichtlinie 97/23/EG:
- befeuertes Druckgerät
- Kategorie IV gemäß Anhang II, Diagramm 5
- Modul G gemäß Anhang III
- Zertifiziertes QM-System nach Modul D
- Angewendetes Regelwerk: TRD
- Werkstoffe nach Anhang I, 4.2 b), TRD und EN 12953
- Korrosionszuschlag gemäß Anhang I, 2.2 und TRD

Das Druckgerät wurde ohne Ausrüstung (Sicherheitseinrichtung) geprüft.
Das Druckgerät muß vor der Aufstellung und der ersten Inbetriebnahme gemäß den nationalen Vorschriften ausgerüstet werden.
Das Druckgerät erfüllt die Anforderungen des gültigen TRD-Regelwerks und der Verbändevereinbarungen.
Daher werden folgende Prüffristen vorgeschlagen:
- jährlich: äußere Prüfung
- alle drei Jahre: innere Prüfung
- alle neun Jahre: Festigkeitsprüfung, die als Wasserdruckprobe auszuführen ist.
Länderspezifische Forderungen bezüglich der Prüffristen sind zu berücksichtigen.

Allendorf, Viessmann Werke GmbH & Co KG

ppa. Manfred Sommer

В сертификате соответствия (рис. C.14.1-3) производитель объявляет о соответствии парового котла действующим требованиям DGRL или иных обязательных к исполнению директив. В подтверждение этого производитель устанавливает на котле соответствующий знак CE.

Для серийных котлов возможно исполнение в соответствии с модулем B (испытание образцов EG).

При этом модуле производитель самостоятельно производит испытания каждого серийного котла. Условием является наличие у производителя разрешенной системы обеспечения качества для производства, для заключительных испытаний и всех прочих связанных с производством испытаний, при условии контроля со стороны уполномоченного органа.

При производстве продукции по модулю D в распоряжении производителя имеется вся система обеспечения качества производства, приемки готовой продукции и испытаний котлов. Выдача технической документации также включена.

Имея маркировку CE, сертификат соответствия продукта и необходимых испытаний в соответствии с модулем из диаграммы 5, котел может беспрепятственно продвигаться на рынок в пределах стран-членов Евросоюза.

Страны-члены Евросоюза исходят из того, что котел удовлетворяет всем без исключения требованиям действующей директивы (например, DGRL)

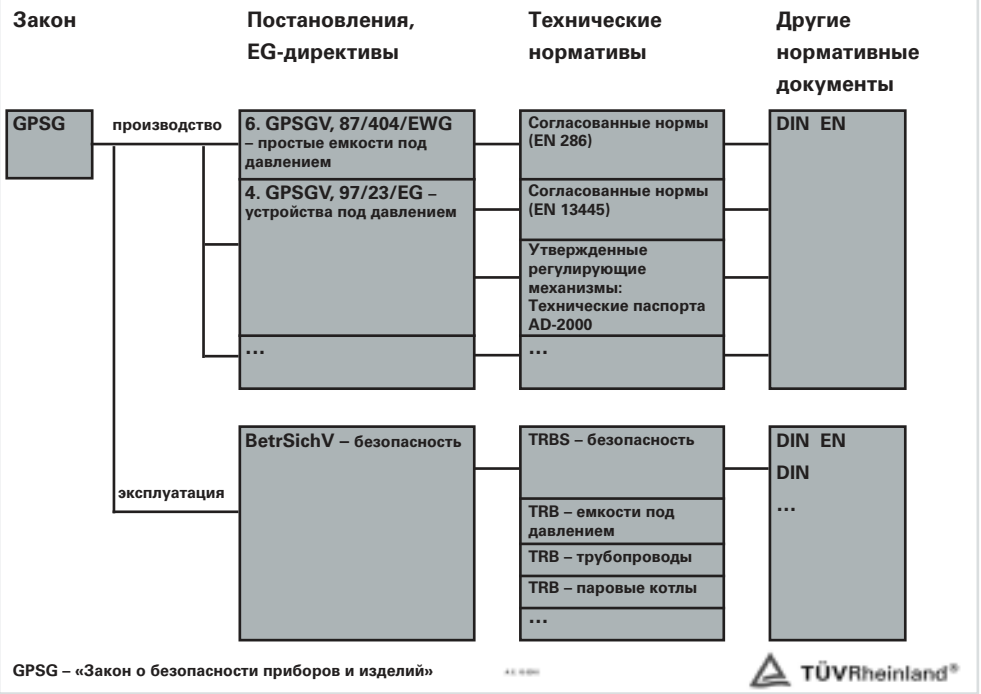
[1] примечание на стр. 89

Для стран, не входящих в Евросоюз и не признающих DGRL, необходимо заключить соглашения между производителем и контролирующими органами соответствующих стран.

В ходе реализации «Директивы о безопасности изделий 2001/95/EG» (Produktsicherheitsrichtlinie 2001/95/EG) на основании положений «Закона о безопасности приборов и устройств» (GSG) (Gerätesicherheitsgesetzes (GSG)) и «Закона о безопасности изделий» (PordSG) (Produktsicherheitsgesetzes (PordSG)) был издан закон о пересмотре безопасности технических средств труда и продуктов потребления. Закон о технических средствах труда и продуктах потребления назван «Закон о безопасности приборов и изделий» GPSG от 06.01.2004 (Gerate- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG vom 6.1.2004) и вступил в силу с 01.05.2004. Закон GPSG служит реализации Директивы 97/23/EG и касается производства и эксплуатации. Производство и требования к качеству рассматриваются в 14-м разделе «Закона о безопасности приборов и изделий». (Постановление для устройств под давлением – 14.GPSGV от 17.06.1998 / Druckgeräteverordnung – 14.GPSGV vom 17.06.1998). Это относится к маркетингу (1) новых устройств под давлением, а также монтажных узлов с максимально допустимым давлением выше 0,5 бар.

Производственные интересы урегулированы в «Постановлении об обеспечении безопасности и охраны здоровья при изготовлении средств труда и их использовании в работе, об обеспечении безопасности эксплуатации требующих контроля установок, об организации охраны труда на производстве» (Verordnung uber Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, uber Sicherheit beim Betrieb uberwachungsbedurftiger Anlagen und uber Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes). Речь идет о так называемом «Постановлении о безопасности» (Betriebssicherheitsverordnung) (сокращенно BetrSichV) от 27.09.2002. «Постановление о безопасности» распространяется на обеспечиваемые работодателем средства труда, а также на их использование лицами, занятыми на производстве.

Рис. C.14.1–4: Законы, постановления, технические нормативы



Законодательная база для паровой котельной установки (на примере Германии).

Во втором разделе BetrSichV «Средства труда. Общие положения» («Gemeinsame Vorschriften fur Arbeitsmittel») отражена оценка степени опасности согласно «Закону об охране труда» - ArbSchG (Arbeitsschutzgesetz). В третьем разделе BetrSichV, который называется «Установки, требующие постоянного контроля. Специальные положения» («Besondere Vorschriften fur uberwachungspflichtige Anlagen»), кроме всего прочего, описывается:

- эксплуатация (параграф 12);
- разрешительные документы (параграф 13);
- испытания перед вводом в эксплуатацию (параграф 14);
- интервалы сервисного обслуживания (параграф 15).

Четвертый раздел BetrSichV, который называется «Общие предписания. Заключительные положения» («Gemeinsame Vorschriften, Schlussvorschriften»), содержит ссылки на параграф 24 по безопасности и гигиене труда. Комитет по производственной безопасности (безопасности эксплуатации) (ABS) («Ausschuss fur Betriebssicherheit»), который является преемником «Немецкого комитета по паровым котлам» (DDA) и выполняет следующие задачи:

1. Устанавливает правила о соответствии уровню развития техники;
2. Устанавливает правила о соответствии требованиям охраны труда и здоровья (BetrSichV);
3. Консультирует Федеральное министерство экономики и труда (BMWA) по вопросам эксплуатационной безопасности.

Комитет по производственной безопасности (безопасности эксплуатации) (ABS) устанавливает Правила для производственной безопасности (безопасности эксплуатации) (TRBS) (Technischen Regeln fur Betriebssicherheit). Правила для производственной безопасности (TRBS) конкретизируют «Постановление о безопасности» в отношении определения и оценки категории опасности.

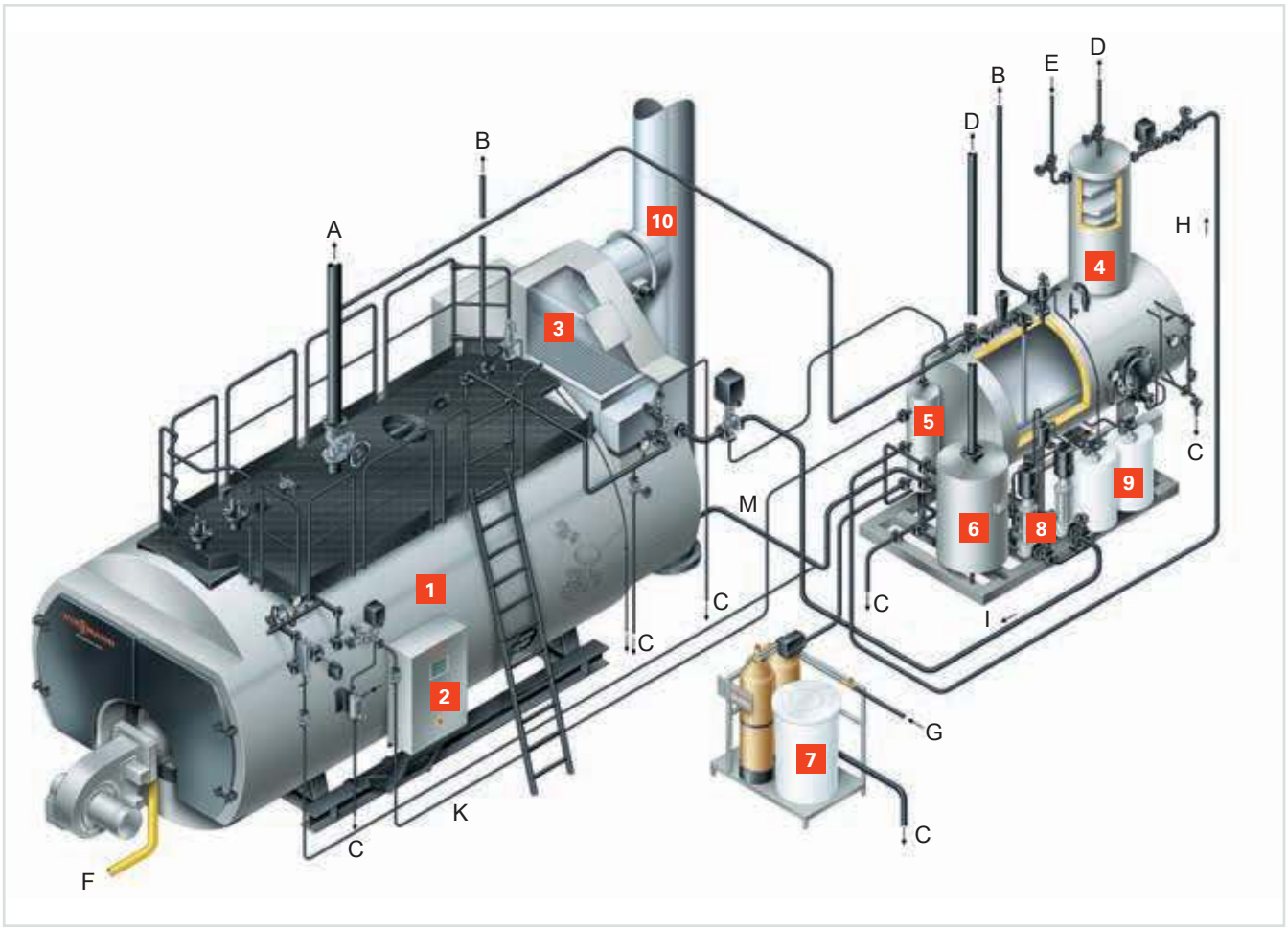
- Выявление и оценка рисков.
- Применение необходимых мер.

В качестве примера названы TRBS 1111 и 2141, в которых дается оценка категории возможной опасности и оценка безопасности при воздействии пара и давления.

Раздел 2. TRBS 1111: «За оценку категории опасности ответственен работодатель, а за оценку безопасности ответственен пользователь».

Раздел 2.1. TRBS 2141 «Рабочие параметры». Часть 1: «Рабочие параметры – это установленные параметры процессов и материалов, например, давление, температура, расход, высота наполнения, абразивность, коррозионная активность, которые обусловлены соответствующими процессами».

D. Подбор компонентов паровой котельной установки



Паровая котельная установка (обзор).

1 Паровой котел
2 Система программируемого управления SPS
3 Интегрированный экономайзер
4 Термический деаэратор
5 Сепаратор непрерывной продувки
6 Охладитель стоков
7 Химическая водоподготовка
8 Насосы питательной воды
9 Дозирующие станции
10 Заслонка дымовых газов

A - пар (к потребителю)
B - продувочная линия – предохранительный клапан
C - линия отвода газов и линия опорожнения
D - линия отвода выпара
E - подача конденсата
F - подача топлива
G - подача необработанной воды
H - умягченная вода
I - питательная вода
K - линия непрерывной продувки
M - линия периодической продувки

D. Подбор компонентов паровой котельной установки

Ниже предлагаются описание и «упрощенные» принципы подбора упомянутых в разделе C компонентов паровой котельной установки.

Для расчета была взята приведенная в приложении A.1 установка. Для каждого конкретного запроса компания VIESSMANN предлагает опросный лист. Пожалуйста, запросите его у представителя компании VIESSMANN.

Максимально точные ответы на поставленные в опросном листе вопросы послужат основой для корректного подбора, наиболее отвечающего запросу.

Компания VIESSMANN оказывает необходимую помощь при заполнении опросных листов.

93 D. Расчет компонентов паровой котельной установки

96 Выбор парового котла

96 D.1. Выбор парового котла
98 D.1.2. Выбор ступени давления в котле
99 D.1.3. Котлы-утилизаторы

102 Программа продуктов

103 D.2.1. Паровые котлы
104 D.2.2. Контроль температуры в жаровой трубе
105 D.2.3. Экономайзер
106 D.2.3.1. Тепловая мощность экономайзера
D.2.3.2. Амортизация экономайзера
110 D.2.3.3. Использование теплоты сгорания
113 D.2.3.4. Пароперегреватель
116 D.2.3.5. Поддержание давления / поддержание парового котла в нагретом состоянии

118 Горелочное устройство

119 D.3.1. Регулирование частоты – вентилятор приточного воздуха
120 D.3.2. Регулирование содержания O_2
121 D.3.3. Количество топлива / потребность в топливе
122 D.3.4. Воздух для горения / подача приточного воздуха
125 D.3.5. Уровень шума моноблочных / двухблочных горелок
126 D.3.6. Определение требуемого расхода древесного топлива (биомасса)

128 Водоподготовка

129 D.4.1. Установка полной деаэрации
130 D.4.2. Установка частичной деаэрации
132 D.4.3. Установка химической водоподготовки (установка уменьшения жесткости воды)
136 D.4.4. Установка обратного осмоса
139 D.4.5. Химический анализ воды / общие положения

142 Конденсатное хозяйство

143 D.5.1. Описание функций «открытых» конденсатных систем
144 D.5.2. Описание функций «закрытых» конденсатных систем

150 Насосы

151 D.6.1. Питательные насосы – критерии подбора и эксплуатации
160 D.6.2. Конденсатные насосы – критерии подбора и эксплуатации

162 Расчет термических агрегатов

163 D.7.1. Охладитель стоков
168 D.7.2. Сепаратор непрерывной продувкиг
171 D.7.3. Охладитель выпара
174 D.7.4. Охладитель питательной воды
180 D.7.5. Охладитель проб

182 Системы трубопроводов

183 D.8.1. Системы трубопроводов
188 D.8.2. Спецификации – материалы, сварочные работы
196 D.8.3. Расчет систем трубопроводов
210 D.8.4. Прочность – растяжение – расчетные пролеты – расстояния – укладка трубопроводов / опоры
219 D.8.5. Рекомендации по проектированию систем трубопроводов
219 D.8.5.1. Паропроводы / парораспределители
224 D.8.5.2. Конденсатные трубопроводы и системы
226 D.8.5.3. Трубопроводы щелочного раствора котла и продувочной массы
227 D.8.5.4. Питательная вода – мягкая вода – питьевая вода
229 D.8.5.5. Трубопроводы выпара, трубопроводы отработанного пара, продувочные трубопроводы
232 D.8.5.6. Топливные трубопроводы
233 D.8.5.7. Отвод сточных вод и внутрипольный отвод сточных вод

236 Система отвода продуктов сгорания

237 D.9.1. Рекомендации по проектированию и расчету соединительных элементов
239 D.9.2. Расчет параметров системы отвода продуктов сгорания
240 D.9.3. Подключение к дымовой трубе / исполнение дымовой трубы
242 D.9.4. Общая система отвода продуктов сгорания, сведение потоков дымовых газов

244 Собственные потребности паровой котельной установки

244 D.10.1. Собственная потребность паровой котельной установки в электрической энергии
248 D.10.2. Собственная потребность паровой котельной установки в тепловой энергии



Паровая котельная установка.

Выбор парового котла

В зависимости от заявленных заказчиком требований к давлению пара и его расходу, а также в зависимости от вида топлива различают различные типы котлов и их конструкций.

Решающими критериями подбора являются:

1. Топливо: биомасса, отработанная теплота (вторичные энергоресурсы), газ / жидкое топливо;

2. Давление: ≤ 0,5 бар / > 0,5 бар;

3. Мощность / паропроизводительность.

D.1. Выбор парового котла

Выбор осуществляется между:

- котлом серии Vitomax 200-LS (паровой котел низкого давления, тип M233, категория IV согласно DGRL 97/23/EG, три типоразмера по мощности, допустимое рабочее избыточное давление до 1,0 бара;

Источник: технический паспорт парового котла

Рис. D.1–1: Котел серии Vitomax 200-LS тип M233

Паропроизводительность[a] (т/ч)	2,9	3,5	5,0
Номинальная тепловая мощность (кВт)	1900	2300	3300

- котлом серии Vitomax 200-HS (паровой котел высокого давления, тип M73A, категория IV согласно DGRL 97/23/EG, девять типоразмеров по мощности, различные ступени давления, допустимое рабочее давление в диапазоне от 6,0 до 30 бар);

Источник: технический паспорт парового котла.

- котлом серии Vitomax 200-HS (паровой котел высокого давления, тип M75A, категория IV согласно DGRL 97/23/EG, десять типоразмеров по мощности, различные ступени давления, допустимое рабочее давление в диапазоне от 6,0 до 25 бар);

Источник: технический паспорт парового котла.

Рис. D.1–2: Котел серии Vitomax 200-HS тип M73A

Типоразмер	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Паропроизводительность[c] (т/ч)	0,5	0,7	1,0	1.3	1,65	2,0	2,5	3,2	4,0
Номинальная тепловая мощность[b] (MW)	0,325	0,455	0,65	0,845	1,1	1,3	1,65	2,1	2,6

- котлом серии Vitomax 200-RS (паровой котел высокого давления, категория IV согласно DGRL 97/23/EG, для использования теплоты отходящих газов).

Рис. D.1–3: Котел серии Vitomax 200-HS тип M75A

Типоразмер		1	2	3	4	5	6	7	8	9	A[4]
	максимальная тепловая мощность топки, МВт										
EN 12953-3	**газ**	3,8	4,5	5,3	6,4	7,5	9,0	10,5	12,7	15,7	18,2
	жидкое топливо	3,8	4,5	5,3	6,4	7,5	9,0	10,4	12,2	14,0	14,0
	максимальная паропроизводительность[a] (без экономайзера), т/ч										
Рабочее давление	**5 бар**	5,2	6,2	7,3	8,9	10,4	12,5	14,6	17,6	21,7	25,2
	25 бар	5,0	5,9	7,0	8,5	9,9	11,9	13,9	16,9	20,8	24,2
	максимальная паропроизводительность[a] (с экономайзером ECO 200), т/ч										
Рабочее давление	**5 бар**	5,5	6,5	7,7	9,3	10,9	13,1	15,3	18,5	22,9	26,6
	25 бар	5,4	6,4	7,6	9,1	10,7	12,9	15,0	18,2	22,5	26,1

Значения между 5 и 25 бар могут быть получены путем интерполяции.

Внимание!
При определении необходимого количества пара следует учесть ожидаемые «потери пара» ($\dot{m}_{FD/E}$), обусловленные собственными нуждами котельной установки в паре.

Это означает, что: количество пара$_{\text{паровой котел}}$ = потребность в паре$_{\text{потребитель или заказчик}}$ + потребность в паре$_{\text{котельная установка}}$.

В первом приближении расход пара на собственные нужды котельной составляет 5 – 15%[e].
Например ==> количество пара$_{\text{паровой котел}}$ = потребность в паре$_{\text{потребитель или заказчик}}$ x 1,05 ... 1,15

Алгоритм более точного определения необходимого количества пара описан в разделе D.10.2.

[a] При температуре питательной воды = 102 °C и номинальной тепловой мощности, без особых требований к выбросам вредных веществ в атмосферу.

[b] При давлении насыщенного пара = 12 бар и температуре питательной воды = 102 °C.

[c] При температуре питательной воды = 102 °C и номинальной тепловой мощности.

[d] Паропроизводительность указана при сжигании природного газа. При сжагании легкого котельного топлива и снижении тепловой мощности топки паропроизводительность изменится.

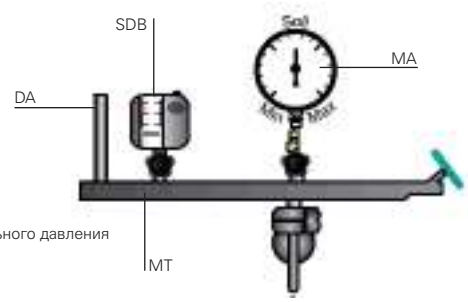
[e] Запас для нагрева свежей питательной воды от 0 до 5% и на продувку до 5% включительно; для определения промежуточных значений возможна интерполяция.

Рис. D.1.2–1: Ограничитель давления на паровом котле



Рис. D.1.2–2: Ограничители давления на паровом котле

Пример 1			**Пример 2**	
13	бар	SiV давление срабатывания предохранительных клапанов	25	бар
12	бар	**SDB (Горелка заблокирована)**	23,5	бар
10,5	бар	**DR (Установленное значение)**	22	бар



SDB - ограничитель максимального давления
DA - датчик давления
MA - манометр
MT - арматурный шток

D.1.2. Выбор давления в котле

Установка контрольно-измерительных приборов

В качестве примера на рис. D.1.2-2 представлены две различные ступени давления котлов. Ниже приводится алгоритм расчета ступени давления котла (защита, блокировка).
Запрашиваемое заказчиком давление, например, равно 10 бар. Это значение, которое требуется для технологических нужд. На арматурном штоке для контрольно-измерительных приборов смонтирован датчик давления, который передает сигналы на интегрированный в систему программируемого управления SPS регулятор давления. Регулятор давления настроен, например, на 10 бар и управляет горелкой в зависимости от отбора пара. Регулятор давления выключает горелку при давлении, например, 10,5 бар и вновь включает ее, например, при давлении 9,5 бар. Значения, при которых происходит включение и выключение можно задать. Выше регулятора давления расположен ограничитель максимального давления, настроенный, например, на 12 бар.
В случае выхода из строя регулятора давления, ограничитель максимального давления защищает котел от повышенного давления и блокирует горелку. Повторное включение возможно только в ручном режиме. Выше со стороны давления расположен предохранительный клапан, который механически защищает котел от высокого давления. Он открывается при давлении 13 бар. Это значит, что при запрашиваемом давлении в 10 бар нужен котел с блокировкой при давлении 13 бар. Аналогично: если запрашиваемое давление составляет 22 бара, необходима блокировка котла при давлении 25 бар.

D.1.3. Котлы-утилизаторы

Котлы-утилизаторы используют отработанную теплоту после производственных процессов (например, после когенерационных установок) для получения горячей воды или пара. Поскольку источники поступления отработанной теплоты могут быть различными, необходим индивидуальный расчет и исполнение соответствующих паровых котлов. На рис. D.1.3.1-1 отражены технические параметры, в пределах которых компания VIESSMANN предлагает котлы-утилизаторы. В зависимости от количества дымовых газов и их источников, а также их термодинамических свойств могут использоваться одно- или многоходовые котлы-утилизаторы для одного или нескольких источников дымовых газов.

Рис. D.1.3.1–1: Технические параметры

	Котлы-утилизаторы без дополнительной горелки	**Котел с дополнительным использованием отработанных дымовых газов**
Доля использования отработанных дымовых газов	100% от общей мощности котла	10 – 30% от общей мощности котла
Источник дымовых газов	Подходит для дымовых газов, образовавшихся вследствие сгорания следующих видов горючего: жидкое топливо EL и природный газ. Прочие виды топлива, как-то: биотопливо из рапса, животные жиры, твердое топливо или поток отработанного воздуха с отягощающими примесями – по запросу.	
Минимальный расход дымовых газов	5000 нм³/ч	1000 нм³/ч
Максимальный расход дымовых газов	80000 нм³/ч (из одного источника или как сумма от двух источников дымовых газов)	10000 нм³/ч (из одного источника или как сумма от двух источников дымовых газов)
Максимально допустимое давление со стороны воды / пара	25 бар	25 бар
Количество источников отработанной теплоты	1 или 2	1 или 2

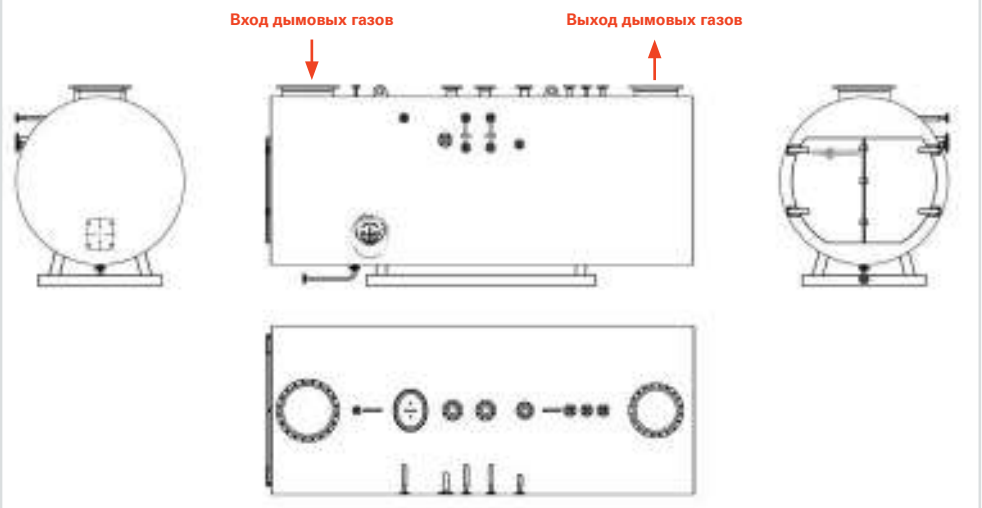
Варианты исполнения

Существует множество вариантов исполнения котельных установок для использования теплоты дымовых газов. Соответственно предъявляемые к котлам-утилизаторам требования существенно отличаются.

Одноходовые котлы-утилизаторы

В самом простом случае к каждому источнику дымовых газов подсоединяется свой котел-утилизатор.

Рис. D.1.3.1–2: Одноходовой котел-утилизатор для производства пара



Двухходовой котел-утилизатор
Если длина котла-утилизатора существенно превышает его диаметр, пучок труб может быть разделен. Вход и выход дымовых газов расположены с одной стороны. Такое компактное исполнение находит применение при небольших расходах дымовых газов и низких температурах.

Рис. D.1.3.1–3: Двухходовой котел-утилизатор для производства пара

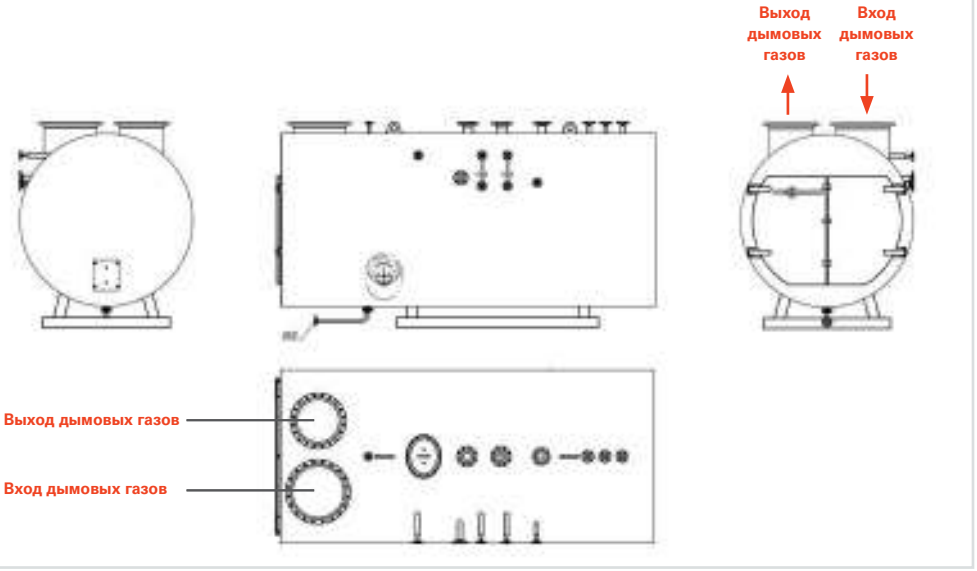


Рис. D.1.3.1–4: Одноходовой котел с большим водяным объемом для производства пара

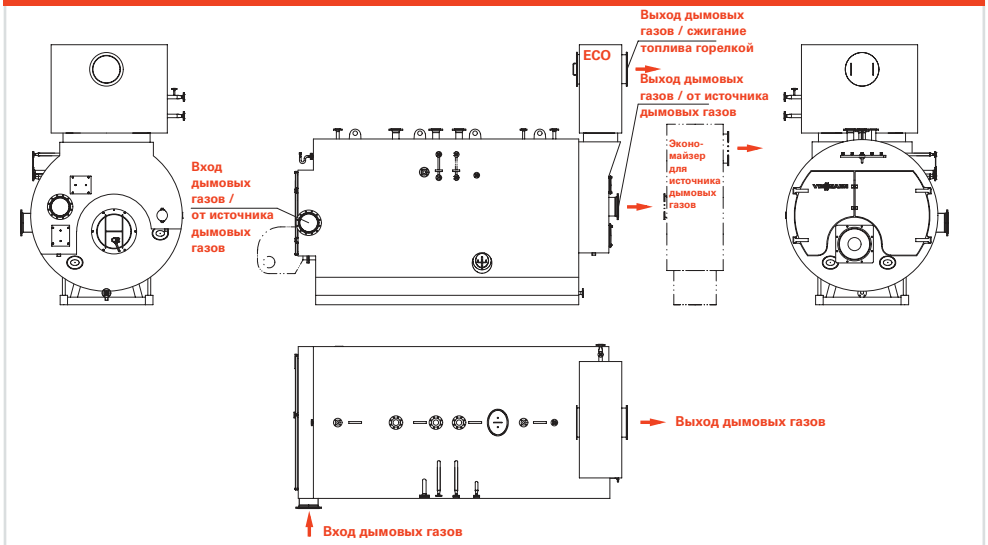


Рис. D.1.3.1–5: Котел-утилизатор



Котел-утилизатор для двух источников дымовых газов, одноходовой.
При небольших расходах дымовых газов к одному котлу-утилизатору могут быть подключены два источника дымовых газов. Это позволяет сократить размеры установки и затраты на оснащение. Тем не менее воздуховоды подачи дымовых газов разделены во избежание взаимного влияния.



Программа продуктов

В зависимости от вида топлива действуют стандартные правила для выбора паровых котлов.

Для производства насыщенного пара в паровых котлах производства компании VIESSMANN, как правило, используются жидкое и газообразное топливо, а также дымовые газы и потоки отработанных газов.

Применяются следующие виды топлива или источники тепла:

- природный газ;
- биогаз;
- легкое котельное топливо;
- тяжелое котельное топливо;
- мазут;
- биотопливо;
- животные жиры;
- древесное топливо (биомасса);
- горячие дымовые газы (например, от блочных электростанций).

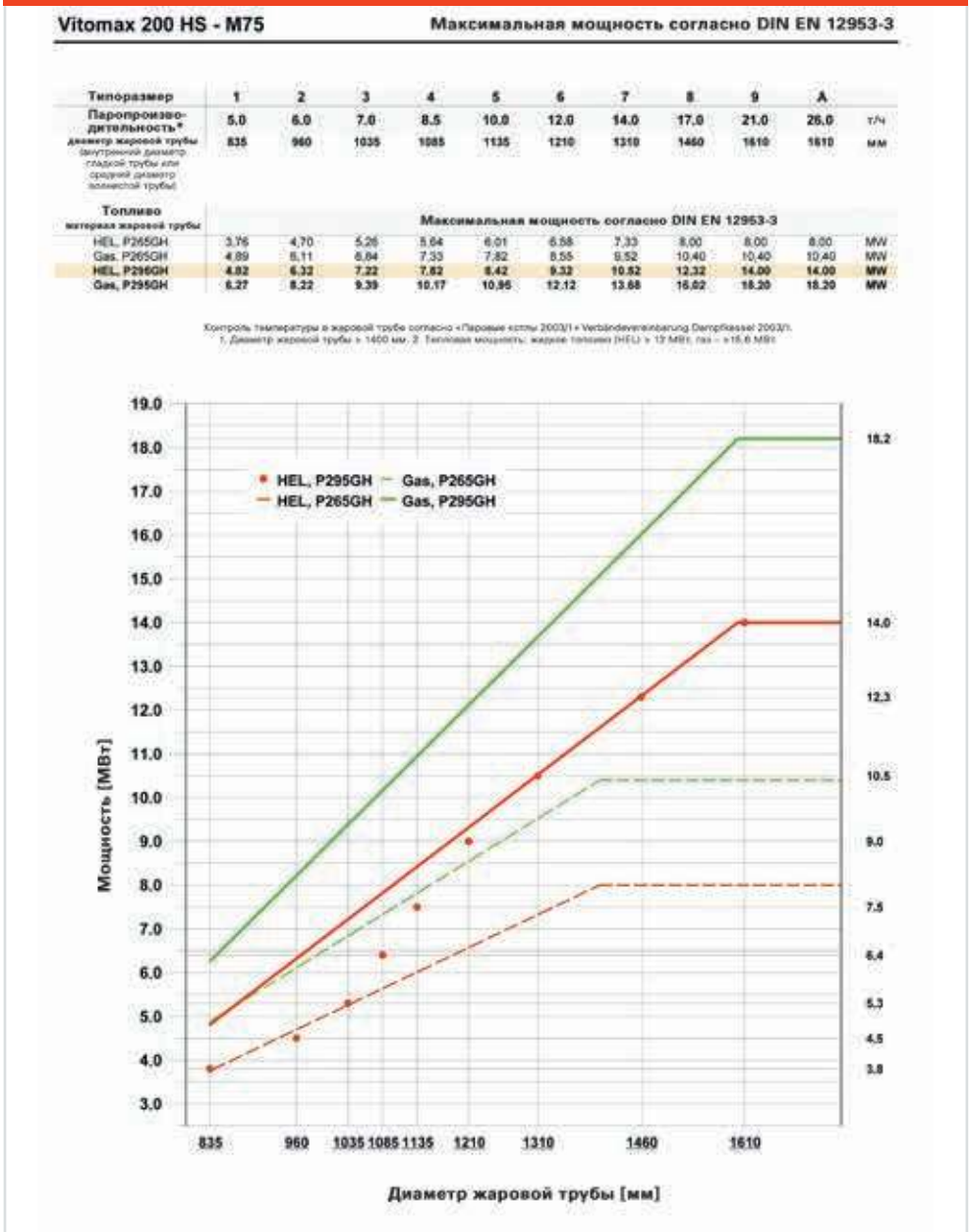
D.2.1. Паровые котлы

Примечание:
По запросу возможно изготовление парового котла с рабочим давлением более 25 бар.

Приведенные граничные значения паровой мощности действительны только для работы на природном газе (в зависимости от допустимого рабочего давления).

При сжигании жидкого топлива при паропроизводительности свыше 16000 кг/ч существуют нормативные ограничения. (DIN EN 12953-3 П. 5.4- рис. 5.4.1: Ограничения тепловой мощности до 14 МВт$_{терм.}$ / см. рис. D.2-1).

Рис. D.2.1–1: Котел серии Vitomax 200-HS, тип M237 / M73A и M75A (сжигание газа и жидкого топлива)



* При указанной здесь паропроизводительности речь идет об ориентировочных значениях. Истинная паропроизводительность зависит от давления в котле, виде топлива, а также заданных показателей эмиссии.

D.2.2. Контроль температуры в жаровой трубе

Для выбранной тепловой мощности и при определенном диаметре жаровой трубы в зависимости от национальных стандартов требуются соответствующие системы контроля температуры в жаровой трубе (см. табличные значения):

Рис. D.2.2–1: Диаметр жаровой трубы в зависимости от мощности (дополнительные данные)

Характеристика топлива	Жидкое топливо	Газ
$\dot{Q}_F$ (МВт) d_f (мм)	≤ 12 > 1400	≤ 15.6 > 1400
$\dot{Q}_F$ (МВт) d_f (мм)	> 12 > 1400	> 15.6 > 1400
$\dot{Q}_F$ (МВт) d_f (мм)	> 12 < 1400	> 15.6 < 1400

(источник: DIN EN 12953-3)

В дополнение к DIN EN 12953-3 следует учитывать также дополнительные требования (версия от 11/2004) при расчетах и конструировании.

Примечание

В случае применения материала P355GH (допустимо исключительно для волнистых жаровых труб), как правило, необходимо устанавливать систему измерения температуры. Даже для следующих значений тепловой мощности ($\dot{Q}_F$) и диаметра жаровой трубы (d_f):
d_f > 1400 мм;
$\dot{Q}_F$ > 12 МВт (жидкое топливо);
$\dot{Q}_F$ > 15.6 МВт (газ).

Рис. D.2.2–2: Контроль температуры в жаровой трубе

Критерий	Комментарии
Диаметр жаровой трубы ≤ 1400 мм	■ Предельная тепловая нагрузка в соответствии с EN 12953 до нагрузки жаровой трубы 12 МВт (при сжигании жидкого топлива) или 15,6 МВт (при сжигании газа) – для материала жаровой трубы P295GH. ■ Максимальная нагрузка жаровой трубы 8,0 МВт (при сжигании жидкого топлива) и 10,4 МВт (при сжигании газа) – для материала жаровой трубы P265GH. ■ Не допускается превышение толщины стенки жаровой трубы 20 мм в паровых котлах для сжигания жидкого топлива и газа. ■ Толщина стенки 22 мм возможна, если осуществляется контроль котловой и питательной воды согласно данным DDA «О монтаже и эксплуатации стационарных паровых котлов», или если установлена система измерения температуры.
Диаметр жаровой трубы > 1400 мм	■ Контроль температуры в стенке жаровой трубы в 6-ти точках замера, расположенных по диаметру под углом 120°. ■ 1-й ряд на расстоянии 0,8 d_p ■ 2-й ряд на расстоянии 600 мм от 1-го ряда. ■ Контроль граничных значений и дизъюнкции, ограничителя температуры и контроль жаровой трубы со стороны пламени каждые 18 месяцев, начиная с 6 года после пуска в эксплуатацию.
Тепловая мощность > 12 МВт (жидкое топливо), > 15,6 МВт (газ)	■ Контроль температуры в стенке жаровой трубы в 6-ти пунктах замера, расположенных по диаметру и под углом 120°. ■ 1-й ряд на расстоянии 0,8 d_p ■ 2-й ряд на расстоянии 600 мм от 1-го ряда. ■ Контроль граничных значений и дизъюнкции, ограничитель температуры или внутренний контроль жаровой трубы со стороны пламени каждые 18 месяцев, начиная с 6 года после пуска в эксплуатацию.

Дополнительно следует производить испытания на растяжение при температуре 300 °C, при этом должны обеспечиваться требуемые значения прочности, а относительное удлинение при разрыве не должно быть меньше, чем соответствующее значение при комнатной температуре.

В дополнение к изложенным в «Отраслевом соглашении 2000/1» положениям, для контроля жаровой трубы со стороны пламени следует предусмотреть с интервалом 18 месяцев.

Рис. D.2.2–3: Мощность жаровой трубы

Предписание	TRD + отрасл. соглашение 94/1	DIN EN 12953 или TRD + отрасл. соглашение 2003/1
Максимальная мощность		
Сжигание жидкого топлива	10,5 МВт	14,0 МВт
Сжигание газа	13,65 МВт	18,2 МВт
Материал	HII 17 Mn_4	P265GH (макс. 8 МВт для сжигания жидкого топлива, макс. 10,4 МВт для сжигания газа) P295GH
Максимальная номинальная толщина стенки	20 мм	22 мм

D.2.3. Экономайзер

Обычно применяются два варианта встроенных экономайзеров, в зависимости от соответствующих рабочих параметров (температуры насыщенного пара = f (рабочее давление пара)).

При температуре питательной воды на входе в экономайзер 102 °C и рабочем давлении пара до 12 бар[a] различают два типа:

- тип 100 – температура уходящих газов после экономайзера 180 °C и
- тип 200 – температура уходящих газов после экономайзера 130 °C.

Технические инструкции (см. инструкцию по проектированию для соответствующего котла) для паровых котлов серии Vitomax 200-HS с интегрированным экономайзером тип 100/200.

С учетом контроля:

- температуры точки росы при холодном пуске;
- дымовых газов в байпасе;
- использования теплоты конденсации при целенаправленной и регулируемой конденсации;

предлагаются конструкции экономайзеров специального исполнения в сочетании с соответствующим паровым котлом (например: «встроенный экономайзер» и «отдельно стоящий экономайзер дымовых газов после котла»).

Основание:

A.

Если в качестве основного топлива применяется природный газ E или жидкое топливо EL, а в качестве вспомогательного топлива предусмотрено, например, жидкое топливо S, поверхность нагрева экономайзера имеет исполнение, соответствующее использованию основного вида топлива. Для того чтобы оребренные трубы экономайзера не загрязнялись при сжигании жидкого топлива S и не становились при этом непригодными для эксплуатации, или отягощенные серой дымовые газы не конденсировались и не разрушали экономайзер, применяется байпас.

Возможно использование экономайзеров от производителей специальных конструкций.

Возникающие при установке экономайзера дополнительные затраты могут окупаться менее чем за полгода за счет дополнительной теплоты конденсации водяных паров из дымовых газов и связанной с этим экономией топлива на 4 – 7% (из расчета рабочего времени 6000 часов в год) (см. пример в разделе D.3.2.2).

Снижение температуры отходящих газов при применении экономайзера (100 K) позволяет ожидать повышения КПД на 5%.

B.

Если существующие системы дымоходов требуют минимальных температур.

Примечание

Согласно положениям «Федерального постановления о контроле эмиссии вредных веществ» BImSchV для обеспечения допустимых потерь дымовых газов 6% требуются экономайзеры тип 200 для рабочего давления более 5 бар.

[a] Для рабочего давления пара более 12 бар, но менее 25 бар с повышением давления наблюдается повышение температуры насыщенного пара (температура насыщенного пара = f (рабочее избыточное давление); см. табл. 2/2.1 раздела G.2) и также аналогичное повышение ожидаемой температуры отходящих газов.

D.2.3.1. Тепловая мощность экономайзера

Возможен приблизительный расчет требуемой общей тепловой мощности экономайзера Q_{ECO} (кВт):

$$\dot{Q}_{ECO} = \frac{q_{ABG/Kessel} - q_{ABG/ECO}}{100} \times \dot{B}_B \times \dot{H}_i$$

$$q_{ABG/Kessel} = (T_{ABG/Kessel} - T_{Luft}) \times \frac{A}{21\text{-}O_2} + B \quad [\%]$$

$$q_{ABG/ECO} = (T_{ABG/ECO} - T_{Luft}) \times \frac{A}{21\text{-}O_2} + B \quad [\%]$$

$T_{ABG/Kessel}$ = температура дымовых газов на выходе / котел = температура дымовых газов на входе в экономайзер [°C]

$T_{ABG/ECO}$ = температура дымовых газов на выходе / экономайзер [°C]

T_{Luft} = температура воздуха для горения [°C]

O_2 = измеренная концентрация O_2 в сухих дымовых газах[1] [%]

[1] При кислородном регулировании концентрация остаточного кислорода 3%

$\dot{B}_B$ = расчетный расход топлива (м³/ч или кг/ч)

$$\dot{B}_B = \frac{\dot{m}_{FD} \times (h''_{FD} - h'_{SPW})}{H_i \times \eta_{K(m)}} \times 100\%$$

$\dot{B}_B$ = расчетный расход топлива (кг/ч и/или нм³/ч)

$\dot{m}_{FD}$ = расход пара (кг/ч)

h_{FD} = энтальпия пара (кВтч/кг) (кДж/кг)

h'_{spw} = энтальпия питательной воды (кВтч/кг) (кДж/кг)

H_i = низшая теплота сгорания топлива (кВтч(кДж)/кг и/или кВтч(кДж)/нм³)

$\eta_{K(m)}$ = средний термический КПД котла в % (ожидаемое значение), ок. 93,5% (принимается диапазон от 92,5 до 93,5%) – и/или из технического паспорта в зависимости от тепловой нагрузки котла и типа экономайзера

Примечание

Следует учитывать количество питательной воды, поскольку оно превышает количество пара из-за потерь при периодической и непрерывной продувках. Так как точными значениями обычно не располагают, для расчета, как правило, принимают массовый расход пара равным массовому расходу питательной воды.

Рис. D.2.3–3: Экономайзер с боковым расположением газохода



Рис. D.2.3.1–1: Факторы A и B = f (топливо); (коэффициенты)

Топливо Факторы	Константы: легкое жидкое топливо	Коэффициенты: тяжелое жидкое топливо	Коэффициенты: природный газ	Коэффициенты: городской газ
A	0,67	0,69	0,66	0,63
B	0,007	0,007	0,009	0,011

Рис. D.2.3.1–2: H_i – нижняя теплота сгорания в кВтч/кг, (кДж/кг) и/или кВтч/нм³ (кДж/нм³)

Fuel	Жидкое топливо (EL)	Тяжелое жидкое топливо (S)	Природный газ (E)	Природный газ (LL)
кВтч/кг	11,9	11,3	–	–
кДж/кг	42,700	40,700	–	–
кВтч/нм³	–	–	10,35	8,83
кДж/нм³	–	–	36,000	31,800

Примечание для приблизительного расчета $\dot{Q}_{ECO}$

С помощью технического паспорта котла серии Vitomax 200-HS (где приведены данные для определения массового расхода дымовых газов в зависимости от паропроизводительности) можно более точно рассчитать соответствующие значения суммарной тепловой мощности экономайзеров типов 100 и 200 $\dot{Q}_{ECO}$:

$$\dot{Q}_{ECO} = (h_{ABG/Kessel} - h_{ABG/ECO}) \times \dot{m}_{FD} \times R / \varrho_{ABG} \quad \text{кВт}$$

$h_{ABG/Kessel}$ – теплосодержание (энтальпия) дымовых газов, на выходе из котла, кВтч/нм³

в общем случае определяется по формуле: $h_{ABG} = \frac{T_{ABG} - 8}{2500}$ $\frac{\text{кВт}}{\text{нм}^3}$

$h_{ABG/ECO}$ – теплосодержание (энтальпия) дымовых газов, на выходе из экономайзера, кВтч/нм³

ϱ_{ABG} – среднее значение плотности дымовых газов, принимается равным 1,345 кг/нм³

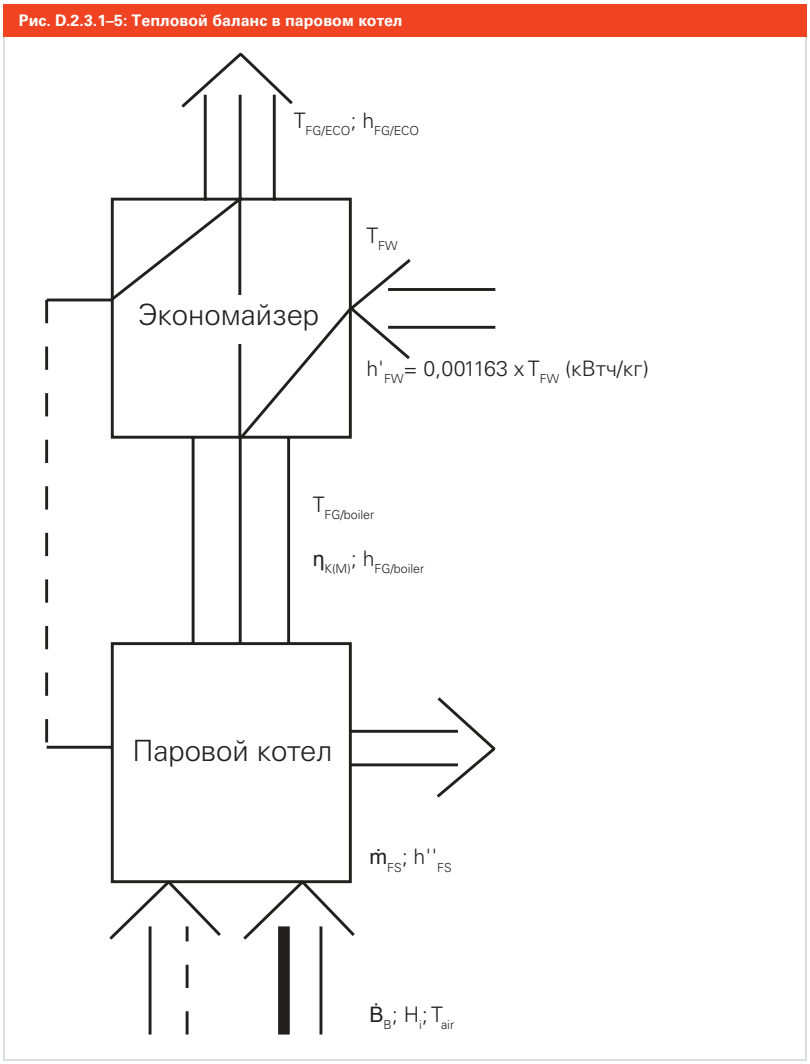
R – безразмерная величина, взятая из упомянутых выше технических паспортов в зависимости от рабочего давления и типа экономайзера

Рис. D.2.3–4: Экономайзер расположенный сверху



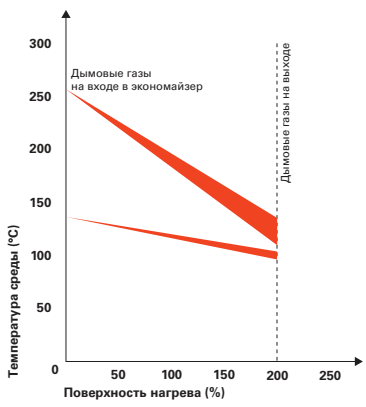
[a] Теплосодержание (энтальпия) пара (кВтч/кг) (табл. 2/2.1) = f (имеющийся параметр для пара – давление / температура) и h''_{FD} – для насыщенного пара.

Рис. D.2.3.1–5: Тепловой баланс в паровом котел



Тепловой баланс в паровом котле с экономайзером.

Рис. D.2.3.1–6: Диаграмма температуры на поверхности нагрева



$\dot{m}_{FD}$ = расход пара на каждый паровой котел (кг/ч)

h_{FD} = теплосодержание (энтальпия) пара – сухой насыщенн пар (h''_{FD}) и/или перегретый пар (h_{FD})), значение получено из табл. 2/2.1. = f (давление пара и температура острого пара)

T_{spw} = f температура питательной воды (°C) (температура деаэрации в зависимости от давления из табл. 2)

h'_{spw} = теплосодержание (энтальпия) питательной воды в кВтч/кг)

Табл. 2, раздел G.2.

D.2.3.2. Амортизация экономайзера (A_{ECO})

На основании полученных в D.2.3.1 значений и с помощью следующего уравнения можно вычислить время амортизации (срок окупаемости):

$$A_{ECO} = \frac{K_{ECO} \times H_i}{\dot{Q}_{ECO} \times k_B \times b}$$

где:

K_{ECO}– ожидаемые затраты на экономайзер (в евро)

Примечание

Для приблизительной оценки затрат может быть использована следующая формула:

K_{ECO} = 11 500 + 23,94 x $\dot{Q}_{Eco}$ (в евро)

k_B – актуальная цена на топливо (в евро/кг и/или в евро/нм³)

b – ожидаемое количество рабочих часов за год (часы полной нагрузки), для покрытия общей годовой потребности в паре.

Пример приблизительного расчета:
Общая тепловая мощность экономайзера составляет

$\dot{Q}_{eco}$ = 365 кВт

цена на природный газ (H) составляет 0,04 евро/кВтч, однако с учетом специфики потребления:

k_B= 0,04 евро/кВтч x H_i = 0,04 евро/кВтч x 10,35 кВтч/нм³
k_B= 0,414 евро/нм³

Ориентировочная стоимость экономайзера:

K_{ECO} = 11 500 + 23,94 x 365 кВт = 20238,10 евро

Количество часов полной загрузки за год:

b = 6000 ч/год

Таким образом, время амортизации (срок окупаемости) составляет:

$$A_{ECO} = \frac{20\,238{,}10 \times 10{,}35}{365 \times 0{,}414 \times 6000} = 0{,}231 \text{ год}$$

Примечание
Общая тепловая мощность экономайзера $\dot{Q}_{ECO}$ определена с учетом значений и расчетных величин, полученных на основании формулы из D.2.3.1:

топливо		= природный газ E
давление пара		= 12 бар
температура питательной воды	T_{spw}	= 102 °C
температура дымовых газов без экономайзера	$T_{ABG/Kessel}$	= 252 °C
содержание O_2 в дымовых газах		= 3%
факторы	A	= 0,66
	B	= 0,009
низшая теплота сгорания	H_i	= 10,35 кВтч/нм³
теплосодержание (энтальпия) насыщенного пара	h''_{FD}	= 0,7737 кВтч/кг
теплосодержание (энтальпия) питательной воды	h'_{spw}	= 0,119 кВтч/кг
расход пара	$\dot{m}_{FD}$	= 12000 кг/ч
загрузка котла		= 100%
тип экономайзера		= 200
температура дымовых газов с экономайзером	$T_{ABG/ECO}$	= 132 °C
температура воздуха	T_{luft}	= 20 °C
КПД котла (согласно техническому паспорту)	$\eta_{K(m)}$	= 94,75%

Примечание

Смотрите в интернете актуальные цены на газ и жидкое топливо: www.heizoelboerse.de, www.verivox.de, www.carmen-ev.de.

D.2.3.3. Использование теплоты сгорания

Принцип использования скрытой теплоты парообразования водяных паров, которые содержатся в продуктах сгорания (широко используемый в конденсационной технике), нашел свое применение также в паровых котлах высокого давления.

Рис. D.2.3.3–1: Значения теплоты сгорания природного газа и жидкого топлива

Топливо	Низшая теплота сгорания H_i	Высшая теплота сгорания H_s	Отношение Hs/Hi x 100 (%)	Температура точки росы для водяного пара в продуктах сгорания (°C)
Природный газ E	10,35 кВтч/нм³	11,46 кВтч/нм³	110,72	58
Природный газ LL	8,83 кВтч/нм³	9,78 кВтч/нм³	110,75	58
Жидкое топливо EL	11,9 кВтч/кг	12,7 кВтч/кг	106,72	47

КПД паровой котельной установки ($\eta_{K(M)}$) возрастает и может достигать значений свыше 100% (по отношению к низшей теплоте сгорания).

Увеличение КПД паровой котельной установки (η^*) зависит, в основном, от дополнительной «полезной теплоты», полученной с помощью конденсационной техники, (Q_{AWT}) и определяется следующим образом:

$$\eta^* = \eta_{K(M)} \times \left(1 + \frac{\dot{Q}_{AWT}}{\dot{m}_{FD}(h''_{FD}-h'_{spw})} \right) \quad [\%]$$

Составляющие уравнения детально расписаны в D.2.3.1 и D.2.3.3.

Примечание

Конденсат, образующийся в продуктах сгорания жидкого топлива, довольно кислый (значение pH от 1,8 до 3,7) и весьма агрессивен из-за наличия в топливе серы (содержание серы ок. 0,2%). Поэтому необходимо применять соответствующие нейтрализаторы конденсата с активированным углем в качестве наполнителя. Теоретически максимальное количество конденсата может достигать 1,035 кг на килограмм топлива (см. рис. D.2.3.3-2).

Увеличение КПД паровой котельной установки означает также снижение нагрузки на окружающую среду. При неизменной мощности паровой котельной установки выбросы CO_2 в атмосферу снижаются на 9% при сжигании природного газа (см. рис. D.2.3.3-2).

Вследствие более высоких значений высшей теплоты сгорания H_s и более высокой температуры точки росы водяных паров применение конденсационной техники при использовании газового топлива более целесообразно, чем для легкого жидкого топлива.

Вследствие химической реакции сгорания (окисления) метана:

$$CH_4+O_2 \Rightarrow 2(H_2O)+C$$

в продуктах сгорания образуется конденсат водяного пара, который теоретически составляет макс. 1,5 кг/нм³ топлива (при сжигании природного газа и значениях pH от 3,5 до 5,2 (слабо кислая реакция)).

Отводимый конденсат следует нейтрализовать до значений pH 6,5 – 9, например, с помощью фильтра с доломитовым наполнением и/или с помощью дозатора с раствором едкого натрия (см. инструкцию по проектированию «Показатели качества воды для паровых котельных установок» (приложение 2, раздел G.1)).

Отдельно стоящий экономайзер может быть применен как дополнительный теплообменник к уже существующему интегрированному экономайзеру. Отдельно стоящий экономайзер, а также газоходы и трубопроводы для отвода воды следует изготавливать из устойчивой к коррозии нержавеющей стали.

Нагретую в экономайзере воду можно использовать в низкотемпературных системах отопления, системах горячего водоснабжения, для низкотемпературных технологических потребителей, а также возможен подогрев дополнительной питательной воды котла (умягченная вода, перед поступлением в деаэратор питательной воды).

Вариант схемы подключения (паровой котел с интегрированным экономайзером и смежным теплообменником отходящих газов для использования теплоты конденсации продуктов сгорания) и блок-схема процесса приведены в приложении A.1 и на рис. D.2.3.3-3.

Рис. D.2.3.3–2: Теоретическое количество конденсата и образование CO2 при полном сгорании

Топливо	Максимальное теоретическое количество конденсата[1,2]	Максимальные выбросы CO_2 (кг/кВтч) относительно H_i и H_s	
		H_i	H_s
Природный газ E	1,63 кг/нм³	0,2	0,182
Природный газ LL	1,53 кг/нм³	0,2	0,182
Легкое жидкое топливо HEL	1.035 кг/кг	0,312	0,298

[1]В зависимости от количества топлива,
[2]A(1)следует учитывать требования коммунальных служб при отводе в местную канализацию (например: в Германии действует инструкция ATV-DVWK/A251).

Дополнительное количество теплоты, полученное из продуктов сгорания при использовании конденсационной техники, qKON, в % определяется по формуле:

$$q_{Kon} = \frac{(H_s - H_i)\,\alpha}{H_i} \times 100$$

где α – фактор конденсации, от 0,7 до 1,0 в зависимости от температуры охлаждающей среды.

Расчет общей тепловой мощности теплообменника отходящих газов Q_{AWT} (кВт) и ожидаемой амортизации (A) подобен расчету для экономайзера, приведенному в D.2.3.1 и D.2.3.2:

$$\dot{Q}_{AWT} = \frac{[(q_{ABG/ECO} - q_{ABG/AWT}) + q_{Kon}]}{100} \times \dot{B}_s \times H_i \quad \text{и} \quad A = \frac{K_{AWT} \times H_i}{\dot{Q}_{AWT} \times K_b \times b}\ [a]$$

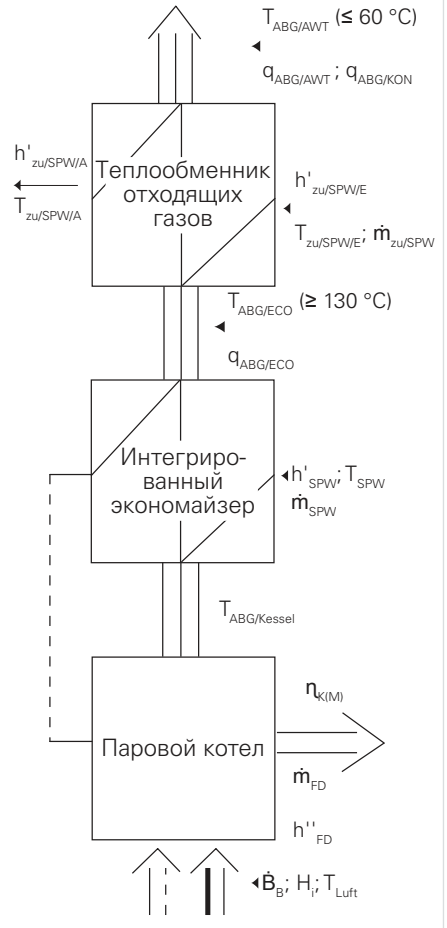
Количество дополнительной питательной воды, необходимое для конденсации водяного пара в продуктах сгорания, $m_{Zu/spw}$:

$$\dot{m}_{Zu/spw} = \frac{\dot{Q}_{AWT}}{h'_{Zu/spw/A} - h'_{Zu/spw/E}} \left[\frac{кг}{ч}\right]$$

Температура дополнительной питательной воды на входе должна быть существенно ниже температуры точки росы для конденсации водяных паров (см. рис. D.2.3.3-3).

Тепловой баланс в паровом котле с интегрированным экономайзером и теплообменником отходящих газов.

Рис. D.2.3.3–3: Тепловой баланс в паровом котле



Теплообменник отходящих газов

Подключен к экономайзеру как дополнительный теплообменник в качестве 2-й ступени.
$h'_{Zu/spw/E}$ = теплосодержание (энтальпия) дополнительной питательной воды (на входе), кВтч/кг
$h'_{Zu/spw/A}$ = теплосодержание (энтальпия) дополнительной питательной воды (на выходе), кВтч/кг
$T_{Zu/spw/E}$ = температура дополнительной питательной воды (на входе), °C
$T_{Zu/spw/A}$ = температура дополнительной питательной воды (на выходе), °C
$\dot{m}_{Zu/spw}$ = расход дополнительной питательной воды, кг/ч

Пример расчета.

- Температура продуктов сгорания после теплообменника = $T_{Abg/AWT}$ = 60 °C
- Температура дополнительной питательной воды на входе = $T_{Zu/Spw/E}$ = 10 °C
- Температура дополнительной питательной воды на выходе[a] = $T_{Zu/Spw/A}$ = 50 °C
- Ориентировочная цена на теплообменник ≈ 105 000 евро [b]
- Общая тепловая мощность теплообменника $\dot{Q}_{AWT}$ = 1 019 кВт

Таким образом, ожидаемое время амортизации (срок окупаемости) составит A_{AWT}:

$$A_{AWT} = \frac{k_{AWT} \times H_i}{\dot{Q}_{AWT} \times K_b \times b}$$

$$A_{AWT} = \frac{105\,000 \times 10{,}35}{1019 \times 0{,}414 \times 6000} \approx 0{,}429 \text{ года}$$

При увеличении КПД η^*:

$$\eta^* = \eta_{K(M)} \left(1 + \frac{\dot{Q}_{AWT}}{\dot{m}_D (h''_{FD} - h'_{spw})} \right) = 94{,}75 \times \left(1 + \frac{1019}{12\,000 \times (0{,}7737 - 0{,}119)} \right) \approx 107\%$$

количество дополнительной питательной воды $\dot{m}_{zu/spw}$:

$$\dot{m}_{Zu/spw} = \frac{\dot{Q}_{AWT}}{h'_{Zu/spw/A} - h'_{Zu/spw/E}} = \frac{1019}{(0{,}0584 - 0{,}0118)} = 21\,867 \text{ кг/ч}$$

Примечание
Если остановиться на выбранном ранее расходе пара (см. пример расчета выше), то потребитель получит «дополнительное» теплоту, возвращенную в результате конденсации водяных паров из продуктов сгорания:

$\dot{Q}_{Nutz/zusätzlich} \approx (21{,}867 - 12\,000)$ кг/ч x (0,0584 - 0,0118) кВт/кг ≈ 460 кВт

Если отвод дополнительной теплоты отсутствует (отсутствует конденсация), то дополнительная теплота $Q_{Nutz/zusätzlich}$ остается неиспользованной и возросший КПД падает до значения:

$$\eta^* = 94{,}75 \left(1 + \frac{(1019 - 460)}{12\,000\,(0{,}7737 - 0{,}119)} \right) \approx 101{,}5\%$$

При этом срок амортизации увеличивается до:

$$A = \frac{85\,000 \times 10{,}35}{559 \times 0{,}414 \times 6\,000} \approx 0{,}633 \text{ года}$$

[a] Температура питательной воды на выходе из теплообменника всегда должна быть существенно ниже температуры $T_{Abg/AWT}$.

[b] Цена на основании коммерческого предложения.

D.2.3.4. Пароперегреватель

В соответствии с требованиями технологического процесса в котельных установках применяются пароперегреватели соответствующих конструкций.
В пароперегревателе можно достичь перегрева пара до 50 K (выше соответствующей температуры насыщенного пара) при стопроцентной загрузке котла.
Значения температуры перегрева пара 50 K (выше соответствующей температуры насыщенного пара) даны из расчета стопроцентной нагрузки котла.

При выборе температуры перегрева пара ($\Delta t_{ÜH}$), следует учитывать ожидаемое снижение температуры (потери теплоты) при транспортировке пара от места установки парового котла до потребителя (см. раздел D.8.3.4).

Следует учитывать снижение температуры перегрева пара до значений < 50 K в зависимости от загрузки котла.

Рис. D.2.3.4–1: Загрузка котла

Нагрузка котла (%)	35	50	75	100
$\Delta T_{üн}$ (K)	25	35	44	50

Приведенные значения в зависимости от паропроизводительности представлены при давлении насыщенного пара 12 бар и температуре питательной воды 102 °C.

При запросе на перегрев в 50 K для нагрузки котла менее 100% существует соответствующий режим эксплуатации пароперегревателя.

Регулирование перегрева осуществляется с помощью плавного подмеса «более холодного» сухого насыщенного пара.

Примечание
В качестве альтернативы возможна установка за пароперегревателем впрыскивающего пароохладителя или поверхностного пароохладителя, либо установка управления со стороны дымовых газов для регулировки температуры перегрева.

При особых требованиях к обеспечению безопасности (превышение давления) или в случае необходимости применения приборов для измерения давления и температуры при наличии в установке пароперегревателя производитель руководствуется соответствующей инструкцией TRD 401.

Температура перегрева выше 50 K возможна при индивидуальном исполнении по согласованию с производителем (см. пример расчета).

Пример расчета

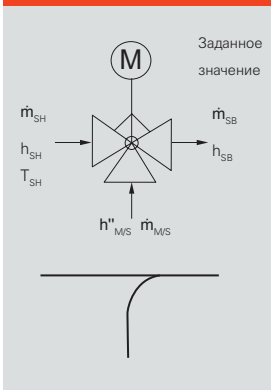
Пароперегреватель (с регулированием), работающий в режиме подмеса сухого насыщенного пара,
котел серии Vitomax 200-HS,
количество насыщенного пара = 10 т/ч,
температура сухого насыщенного пара = 195 °C,
давление = 13 бар,
заданное значение после пароперегревателя = 220 °C,
при двадцатипроцентной загрузке котла.

Загрузка котла (%)	20[a)]	40	60	80	100
$\Delta T_{üн}$ (K) без регулирования	20	42	59	72	82
$\Delta T_{üн}$ (K) с регулированием[b)]	20	25	25	25	25

Рис. D.2.3.4–3: Пароперегреватель



Рис. D.2.3.4–2: Смесительный клапан



[a)] [b)] Указанная загрузка котла 20% в примере расчета относится к «особому случаю». Обычно нижний предел нагрузки котла ограничивается 35%.

Принцип подмеса насыщенного пара

Требуемый расход сухого насыщенного пара $m_{M/S}$ рассчитывается по формуле:

$$\dot{m}_{M/S} = \frac{\dot{m}_{DE} \times (h_{ÜH} - h_{DE})}{(h_{ÜH} + h''_{M/S})} \quad (кг/ч)$$

где:

$\dot{m}_{DE}$ – требуемый расход пара (кг/ч), определяется заказчиком

$\dot{m}_{M/S}$ – необходимое количество подмешиваемого сухого насыщенного пара (кг/ч)

h_{DE} – теплосодержание (энтальпия) пара (табл. 2) (кДж/кг) как функция от заявленных клиентом значений давления и температуры

$h_{ÜH}$ – теплосодержание (энтальпия) пара (табл. 2) (кДж/кг) как функция от требуемой температуры перегрева пара ($\Delta t_{ÜH}$) с целью определения требуемого значения температуры

$h''_{M/S}$ – теплосодержание (энтальпия) подмешиваемого пара (табл. 2) (кДж/кг) как функция выбранных параметров насыщенного пара

При этом:

Массовый расход-> $\dot{m}_{DE} = \dot{m}_{ÜH} + \dot{m}_{M/S}$ (кг/ч)

Тепловой баланс->

$\dot{m}_{DE} \times h_{DE} = \dot{m}_{ÜH} \times h_{ÜH} + \dot{m}_{M/S} \cdot h''_{M/S}$ (кДж/ч)

Часто возникает идея выбрать котел с более высоким давлением и путем снижения давления достичь перегрева пара. Этот способ показан на рис. D.2.3.4-4. Однако это всего лишь чистая теория. На практике теплосодержание (энтальпия) перегрева используется частью влажного насыщенного пара, так что в действительности существенной температуры перегрева не достигается.

Рис. D.2.3.4–4: 1-й и 2-й вариант на h-s диаграмме для водяного пара (теоретические рассуждения)

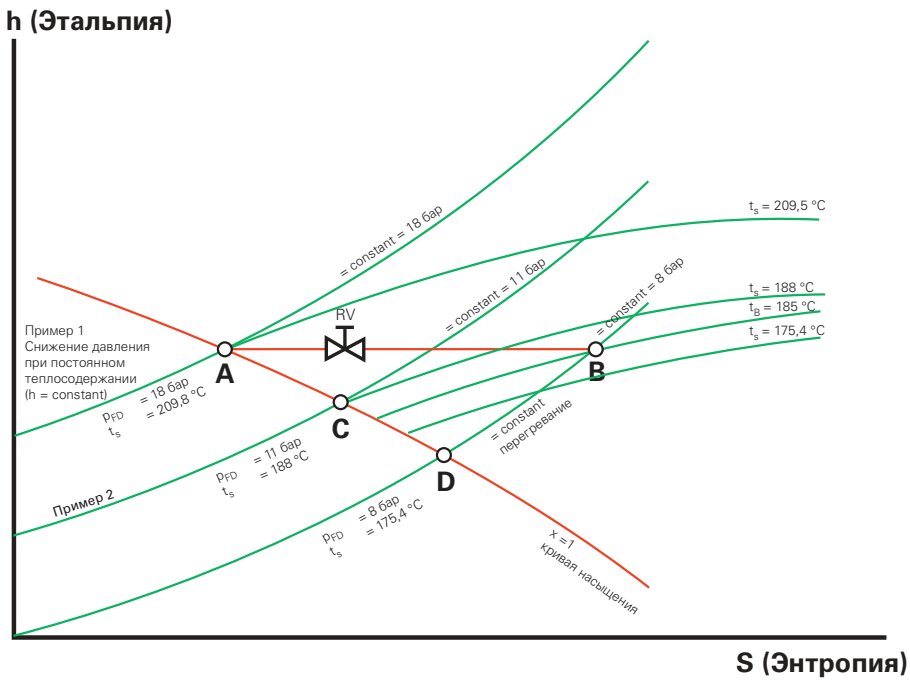


Рис. D.2.3.4–5: Паровой котел с пароперегревателем



Рис. D.2.3.5–1: Греющий змеевик



D.2.3.5. Поддержание давления / поддержание парового котла в нагретом состоянии

Принципиальные возможности были названы и описаны в C.1.3.1 и в приложении A.2 в виде 2-х вариантов.

Наряду с представленными вариантами:

(VB) поддержание давления с помощью горелочного устройства;

(VA) поддержание давления с помощью дополнительных греющих поверхностей нагрева (греющий трубный регистр), интегрированных в водяном объеме парового котла и обогреваемых паром – наиболее часто встречающийся на практике вариант. Кроме того, этот вариант, с точки зрения энергозатрат, – самый экономный.

Преимуществом данного варианта при многокотловой установке является равномерное распределение теплоты в котле. При этом не возникает температурное расслоение и тепловое напряжение.

Ниже будет приведен пример расчета площади поверхности нагрева, выполненной в виде трубного регистра (Hf_R):

Примечание

Поверхность нагрева в виде трубного регистра (Hf_R) конструктивно представляет собой погружной теплообменник (при необходимости выполненный в виде U-образного пучка труб), интегрированный в водяное пространство парового котла (см. рис. D.2.3.5-2).

$$Hf_R \approx \frac{\frac{\eta_{v/ST}}{100} \times \dot{m}_{FD} \times (h''_{FD} - h'_{spw})}{k_{f(m)} \times \Delta T_m} \quad (м^2)$$

где:

$\eta_{v/ST}$ теплопотери с излучением парового котла (%)

$\dot{m}_{FD}$ расход пара (кг/ч)

h''_{FD} теплосодержание (энтальпия) сухого насыщенного пара = $f(p_B)$ из табл. 2 (кВтч/кг)

h'_{spw} теплосодержание (энтальпия) питательной воды = f (температура питательной воды) (кВтч/кг) из приложения табл. 2

$k_{f(m)}$ средний коэффициент теплопередачи при свободной конвекции согласно приложению L8 (между конденсирующимся паром – сталью – водой) (кВтч/чКм²) (значения от 0,291 до 1,163 кВтч/чКм²)

ΔT_m средняя разность температур (K) между температурой кипения котловой воды (как функция от рабочего давления p_B) и выбранным охлаждением котловой воды вследствие теплопотерь излучением:

ΔT_{max} = максимально допустимое охлаждение

ΔT_{min} = минимально допустимое охлаждение

При этом выполняется соотношение:

$$\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}} \leq 2$$

Площадь поверхности нагрева определяется при среднем значении ΔT_m

$\Delta T_m = (\Delta T_{max} + \Delta T_{min})/2$ (in K)

Пример расчета требуемой площади поверхности нагрева, выполненной в виде трубопровода (Hf_R):

$\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч
p_B = 13 бар
$\eta_{v/ST}$ = 0,35%
h''_{FD} = 0,7744 кВтч/кг
h'_{spw} = 0,121 кВтч/кг
$k_{f(m)}$ ≈ 0,727 кВтч/чКм²
ΔT_{max} = 20 K
ΔT_{min} = 10 K
ΔT_m =(20+10)/2 = 15 K

Выбранная температура питательной воды T_{spw} ≈ 104 °C

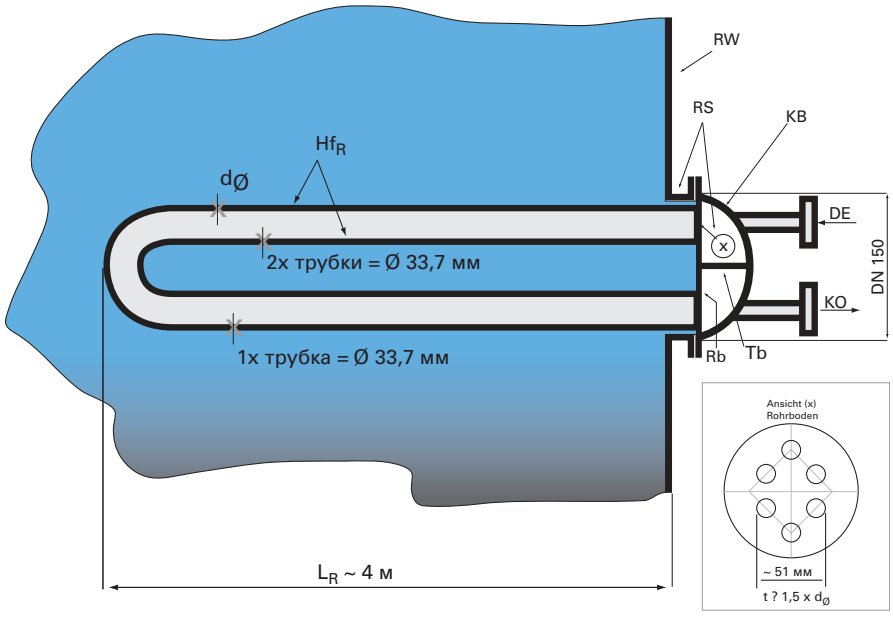
Площадь поверхности нагрева равна:

$$Hf_R \approx \frac{\frac{\eta_{v/ST}}{100} \times \dot{m}_{FD} \times (h''_{FD} - h_{spw})}{k_{f(m)} \times \Delta T_m} \approx \frac{\frac{0,35}{100} \times 12\,000 \times (0,7744 - 0,121)}{0,727 \times 15} = 2,5 \text{ м}^2$$

При этом можно определить требуемое количество трубок n заданного диаметра 33,7 x 2,6 мм:

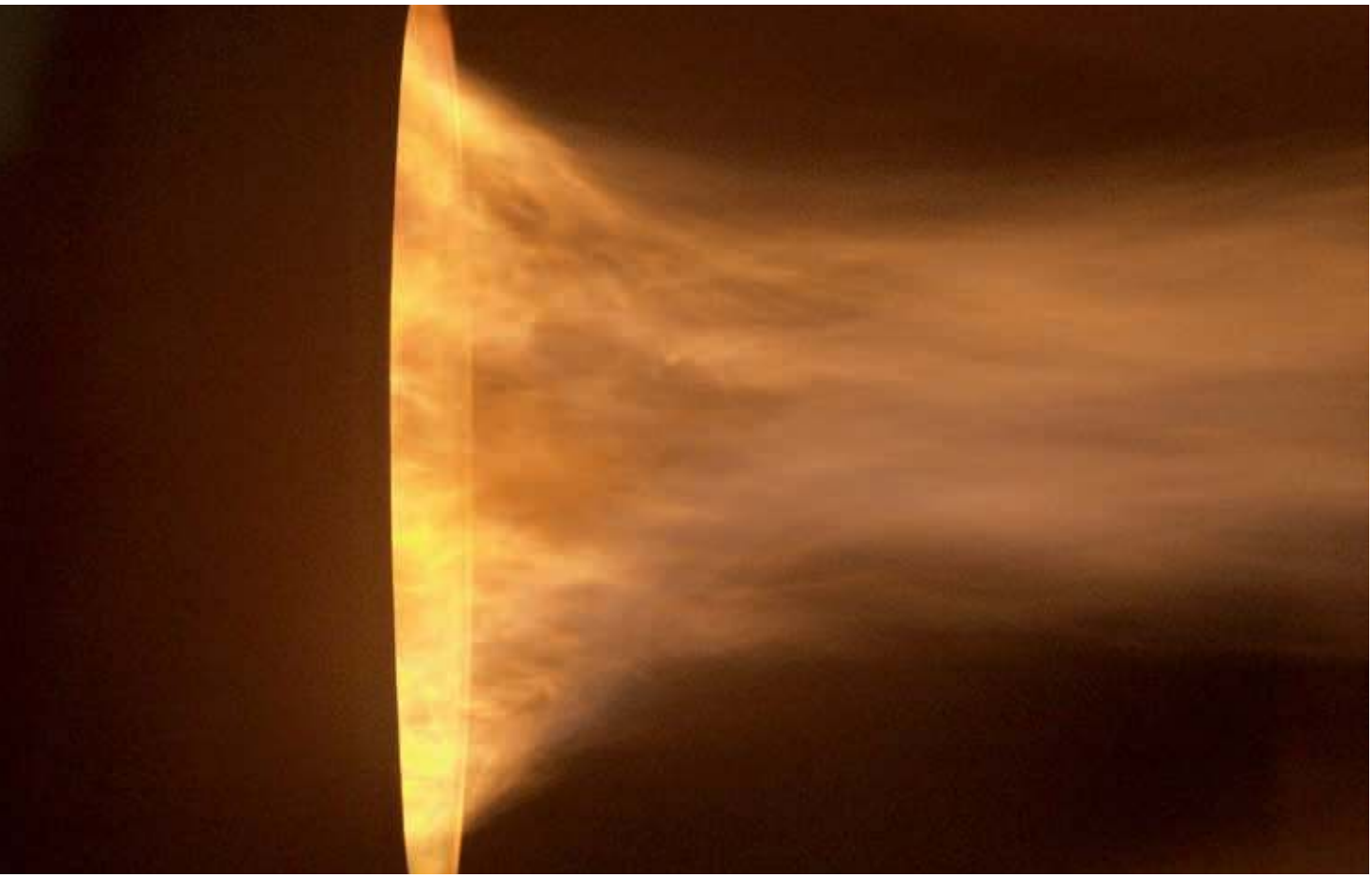
$$n = \frac{Hf_R}{d_ø \times \pi \times L_R} = \frac{2,5 \text{ m}^2}{0,0337 \times \pi \times 4 \text{ m}} = 5,9$$ – итого 6 штук

Рис. D.2.3.5–2: Греющий трубный регистр



Греющий трубный регистр

RW = стенка трубы парового котла
RS = патрубок трубы парового котла с заглушкой (KB),
Rb = трубная решетка (Rb) и металлическая прокладка (Tb)
DE = вход пара для нагрева
KO = отвод конденсата
$d_ø$ = наружный диаметр трубы
t = расстояние между трубками
n = количество греющих трубок
L_R = длина греющих трубок



(источник: Weishaupt)

Горелочное устройство

Если заказчик не настаивает на какой-то определенной модели, то выбор горелки осуществляется по технико-экономическим показателям.

В процессе подбора горелки необходимо учитывать не только вид топлива и требуемую мощность, но и действующие для каждой конкретной страны нормы и стандарты (для Германии 1./4. BImSchV, TA-Luft, 13.BImSchV).

Выбор горелки осуществляется с учетом ассортимента производителей (например, фирм Dreizler, Elco, Saake, Weishaupt).

Рекомендуется:

- газовое топливо, модулируемая горелка;
- жидкое топливо, двухступенчатая горелка – при производительности парового котла до 2,3 т/ч или модулируемая при производительности парового котла свыше 2,3 т/ч.

D.3.1. Регулирование частоты – вентилятор приточного воздуха

- В зависимости от часов работы в течение года и связанной с этим нагрузки.
- Рекомендуется для двигателя мощностью ≥ 8 кВт и прогнозируемой среднегодовой нагрузки 50%.

Приблизительная оценка регулирования частоты:
Применение регулятора частоты вращения для двигателя вентилятора горелки при средних значениях нагрузки котла позволяет сэкономить около 40% затрат на электроэнергию.

Дополнительное преимущество
Снижение уровня звукового давления, поскольку вентилятор горелки не работает постоянно при стопроцентной мощности.

Пример расчета

Мощность двигателя вентилятора (N)	= 30 кВт
Экономия 40%	= 12 кВт
Количество часов эксплуатации в течение года (B_{Std})	= 6 000 ч/год
Годовая экономия	=72 000 кВт/ч
Стоимость электроэнергии (K_{Strom})	= 0,08 евро/кВтч

Годовая экономия расчитывается как:

$$K_{DZ} = B_{Std} \times K_{Strom} \times N$$

Годовая экономия (K_{DZ}) определяется по формуле:
K_{DZ}= 6 000 ч/год x 0,08 евро/кВтч x 12 кВт.
Таким образом, годовая экономия K_{DZ} составляет 5 760 евро/год.

Инвестиционные затраты на регулятор частоты вращения составляют около 3 500 евро, при этом срок окупаемости (амортизации) (A_{DZ}) составит
(A_{DZ}) = 3500 евро / 5 760 евро/год = 0,61 года.

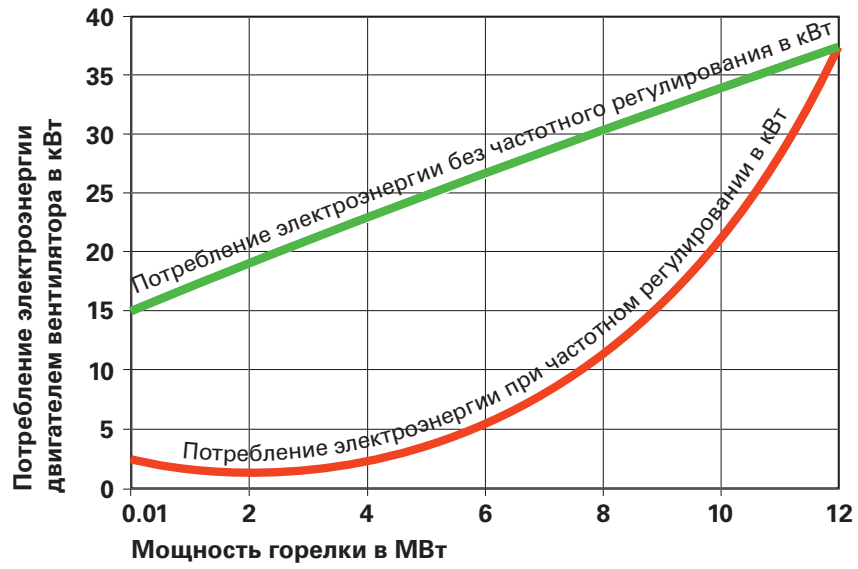
Примечание

Кривая характеристики вентилятора как функция электрической мощности

$N_2=N_1\cdot(n_2/n_1)^3$

(в кВт) показывает падение потребления двигателем электроэнергии до приблизительно 1/8 при снижении частоты в два раза (от полной нагрузки n_1 = 100% до половины нагрузки n_2 = 50%).
Срок окупаемости является функцией фактической нагрузки и цены на электроэнергию.

Рис. D.3.1–1: Сравнение типов регулирования вентилятора приточного воздуха



Примечание

Благодаря снижению избытка $O_2 \leq 3\%$, снижается коэффициент избытка воздуха (λ) КПД установки повышается на 1%.

D.3.2. Регулирование содержания O_2

- В стехиометрической смеси между топливом и расходом воздуха для горения.
- Как рекомендация для тепловых мощностей > 10 МВт для достижения оптимального уровня выбросов NO_x в атмосферу.
- Дальнейшее увеличение КПД установки на 1,3% возможно посредством комбинированного регулирования: «содержание CO в продуктах сгорания» и «регулирование O_2» (т. е. регулирование O_2 = f (содержание CO в продуктах сгорания), но только при сжигании газового топлива).

Приблизительный расчет комбинированного регулирования по «O_2/CO»:

При снижении содержания O_2 от 3,5 до 1% при сжигании газа и температуре продуктов сгорания около 240 °C КПД увеличивается на 1,25%.

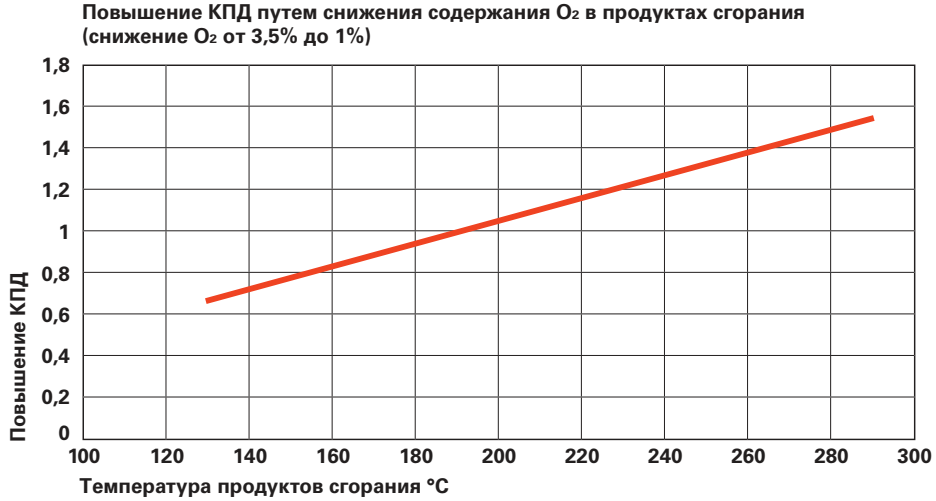
Это соответствует экономии топлива (для легкого котельного топлива):

- при 10 т/ч, нагрузке 75% и 6 000 часов работы в год = 39 500 л/год;
- при 15 т/ч, нагрузке 75% и 6 000 часов работы в год = 59 200 л/год.

Примечание

При температуре отходящих газов 150 °C КПД установки увеличивается на 0,8%.

Рис. D.3.2–1: Сравнение видов регулирования вентилятора



[a] С увеличением содержания CO содержание O_2 (избыток воздуха) может быть снижено до стехиометрического минимума (граничного значения). Дальнейшее снижение содержания O_2 приводит к резкому увеличению содержания CO, характерному при сжигании легкого котельного топлива. При сжигании газового топлива это увеличение не столь ярко выражено и поэтому проще поддается управлению.

D.3.3. Расход топлива / потребность в топливе

D.3.3.1. Расход топлива ($\dot{B}_B$) – см. D.2.1 (общая тепловая мощность)

Расход топлива ($B_в$) определяется по формуле:

$$\dot{B}_B = \frac{\dot{m}_{FD}\,(h''_{FD} - h'_{spw}) \times 100}{H_i \times \eta_{K(M)}} \quad \text{(кг/ч)}$$

Выбранное здесь среднее значение КПД $\eta_{K(M)}$ взято из технического паспорта парового котла в зависимости от тепловой нагрузки и выбранного режима эксплуатации с экономайзером или без него.

Полученное значение расхода топлива позволяет определить:

- тепловую мощность топки (мощность горелки)
  $\dot{Q}_F = \dot{B}_B \times H_i$ (кВт) и
- номинальную паропроизводительность
  $\dot{Q}_{DE} = \dot{Q}_F \times \eta_{K(M)}$ кВт

и/или

$\dot{Q}_{DE} = \dot{Q}_F \times \eta_{K(gemäß\ DE\text{-}Datenblätter)}$ кВт

При контроле работы горелки можно определить КПД котла по приведенной ниже формуле:

$$\eta_k = 100\ \% - 2\ \%^{*} - \left(\frac{A}{21 - O_{2tr}} + B \right) \times (\vartheta_A - \vartheta_L)$$

* предполагаемые потери 2% (факторы A и B см. рис. D.2.3.1-1).

O_{2tr} – фактическое содержание O_2 в сухих продуктах сгорания,

ϑ_A – температура продуктов сгорания,

ϑ_L – температура воздуха.

D.3.3.2. Годовой расход топлива ($\dot{B}_{B(a)}$)

Определяется по формуле:

$$\dot{B}_{B(a)} = \frac{b \times \dot{Q}_F \times \eta_K \times 100}{H_i \cdot \eta_{ges}} = \frac{b \times \dot{Q}_F \times \eta_K \times 100}{H_i \times \eta_K \times \eta_B \times \eta_v} =$$

$$\dot{B}_{B(a)} = \frac{b \times \dot{Q}_F \times 100}{H_i \times \eta_B \times \eta_v} \quad \text{(кг/год и/или нм}^3\text{/год)},$$

где:

$\dot{Q}_F$ – тепловая мощность топки (кВт);

H_i – низшая теплота сгорания (кВтч/кг) и/или (кВтч/нм^3);

b – ожидаемое количество часов работы за год при полной нагрузке;

η_{ges} – общий КПД котельной установки (%),

η_K - нормативный КПД котла согласно техническому паспорту (%);

η_B - КПД (%) в режиме ожидания; с учетом тепловых потерь через изоляцию котла и расхолаживания парового котла при его простое (0,3 – 0,4%) в зависимости от тепловой изоляции и тепловой нагрузки котла, =98%;

η_v - КПД (%) системы трубопроводов в зависимости от тепловой изоляции и способа прокладки, 90 – 98%.

D.3.3.3. Расчет параметров реакции горения (упрощенный)

Определяется на основании (L4/L5) для газообразного и жидкого топлива. При необходимости более точного расчета рекомендуется специальная литература. Точный расчет осуществляется на основании данных о химическом составе топлива.

Рис. D.3.3.3–1: Объем воздуха для горения и продуктов сгорания

Топливо	L_{min} в: $\frac{нм^3}{кг}$ или $\frac{нм^3}{нм^3}$	$V_{A\,min}$ в: $\frac{нм^3}{кг}$ или $\frac{нм^3}{нм^3}$
Природный газ (E) =	$\frac{0{,}260 \cdot H_i}{1000}$ - 0,25	$\frac{0{,}272 \cdot H_i}{1000}$ + 0,25
Природный газ (LL) =	$\frac{0{,}209 \cdot H_i}{1000}$	$\frac{0{,}173 \cdot H_i}{1000}$ + 1,0
Жидкое топливо HEL(S) =	$\frac{0{,}203 \cdot H_i}{1000}$ + 2,0	$\frac{0{,}265 \cdot H_i}{1000}$

где:

L_{min} – теоретически необходимое количество воздуха (λ=1);

$V_{A\,min}$ – объем продуктов сгорания (теоретическое) (λ=1);

H_i – низшая теплота сгорания для жидкого топлива (кДж/кг) и/или для газа (кДж/нм³).

С учетом самого низкого значения коэффициента избытка воздуха (λ), которое составляет:

λ ~ 1,1 до 1,3 при сжигании газа и
λ ~ 1,2 до 1,5 при сжигании жидкого топлива

можно рассчитать удельный расход воздуха и ожидаемый расход продуктов сгорания (V_A) по формуле:

$L = \lambda \times L\ min$
в нм³/кг или нм³/нм³,
а также
$V_A = V_A\ min + (\lambda - 1) \times L_{min}$
в нм³/кг или нм³/нм³.

Примечание

Пересчет размерности полученного количества воздуха для горения и/или расхода продуктов сгорания (нм³/ч в м³/ч) осуществляется по формуле:

нм³/ч x (1 + 0,00367 xT) = м³/ч

(T – существующая температура среды в °C, рабочим давлением пренебрегают).

D.3.4. Воздух для горения / подача приточного воздуха

Необходимое количество воздуха для сжигания топлива (расчет см. в D.3.3.3) может быть взято непосредственно из помещения котельной установки и/или подано снаружи (см. варианты исполнения в C.4.1. «Воздух для горения»). Необходимо учитывать, что давление в помещении котельной установки +/- 0 мбар.

Вариант A

При подаче воздуха из помещения котельной установки необходимо обеспечить свободное поступление приточного воздуха в помещение.
Для поступления приточного воздуха в помещение котельной необходимо учитывать, что:

- проем для подачи приточного воздуха выполняется в наружной стене непосредственно за котлом (обычно применяется на практике);
- нижняя грань проема для приточного воздуха выполняется на расстоянии около 300 – 500 мм от пола;
- соотношение сторон проема для подачи приточного воздуха макс. 1:2;
- площадь открытого отверстия для приточного воздуха рассчитывается по формуле:
  A_{Zuluft} ~ 150 см² + ($\dot{Q}_F$ - 50) x 2 [см²],
  где: $\dot{Q}_F$ – мощность (кВт);
- для мощностей > 20 МВт рекомендуется формула:
  A Zuluft ~ 150 см² + (QF - 50) x 1,8 в см²;
- если возникает необходимость в проеме для удаления воздуха, то на практике его площадь принимают равной 60% от площади проема для приточного воздуха.

Примечание
Необходимо согласование
с соответствующими органами.

- Максимальное избыточное давление в помещении котельной установки с паровыми котлами 0,5 мбар = 50 Па (TRD 403).
- Исключить замерзание установки путем поддержания в помещении температуры в пределах +5 – +30 °C.
- При температуре воздуха менее +5 °C необходимо предусмотреть соответствующий предварительный подогрев воздуха для горения, например, посредством установки теплообменника в виде спирального оребренного трубопровода. Отопление помещения котельной (например, с помощью настенных приборов воздушного отопления) рекомендуется предусматривать только при продолжительных плановых паузах в работе паровой котельной установки в зимние месяцы.
- Горелки, как правило, рассчитаны на сжигание воздуха при нормальных условиях:
  плотность воздуха – 1,2 кг/нм³,
  температура воздуха – 20 °C,
  высота установки
  над уровнем моря – 0 м,
  содержание O_2
  в продуктах сгорания – 3%.
- Температура воздуха в помещении в пределах ≥ 0 до ≤ 5 °C и ≥ 30 до ≤40 °C ведет к уменьшению или увеличению объема поступающего воздуха для горения. Возникающие при этом колебания значения содержания O_2 в продуктах сгорания могут быть устранены посредством регулирования содержания O_2.

Рис. D.3.4–1: Пересчет плотности воздуха

Высота (м) над уровнем моря	Давление (мбар)	Плотность воздуха (кг/м³) при:		
		10 °C	20 °C	30 °C
0	1013	1,247	1,205	1,165
250	983	1,210	1,169	1,130
500	955	1,176	1,136	1,098
1000	899	1,107	1,069	1,034
1500	846	1,042	1,006	0,973

Следует учитывать изменение объема воздуха, необходимого для горения при постоянном массовом расходе в зависимости от температуры воздуха и монтажной высоты установки. Рассчитывается по формуле:

$$(\dot{V}_{Luft} = \dot{m} / \varrho)$$

(см. рис. D.3.4-1).

Вариант B

При заборе воздуха для горения снаружи (вне пределов помещения) для горелки необходимо использовать герметичные воздуховоды. Также необходимо обеспечить соответствующую температуру воздуха в помещении котельной, температуру воздуха для горения и монтажную высоту, как это описано в варианте A.

При выборе исполнения воздуховодов необходимо дополнительно учитывать следующее:

- обеспечение герметичности и устойчивости к давлению, в соответствии с ожидаемыми показателями давления и в зависимости от потерь давления в воздуховоде;
- расчёт потери давления в воздуховоде с учетом местных сопротивлений, таких как, например, шумоглушители, отводы, компенсаторы и т.п. (см. расчет в разделе D.9);
- определение ожидаемых величин противодавления (сопротивление со стороны продуктов сгорания) для:
  - котлов с/без экономайзера (см. технический паспорт для котла Vitomax 200-HS),
  - дымоходов с учетом составляющих элементов, таких как, например. компенсаторы, клапаны, отводы и шумоглушители (расчет в разделе D.9);
- устройство направляющих в отводах (здесь специально для отводов 90°) с целью обеспечения по возможности равномерного ламинарного потока воздуха;
- если позволяют условия на объекте, после отвода под 90° (непосредственно перед подключением горелки) необходимо предусмотреть прямой участок ок. 2 – 3 x d_{gl}

где d_{gl} – это эквивалентный диаметр, который определяют по формуле:

$$d_{gl} = \frac{4x \text{ Площадь поперечного сечения}}{\text{Периметр воздуховода}} = \frac{4 \text{ x} \cdot \text{ a x b}}{2 \text{ x (a + b)}}$$

где «a» и «b» – длины соответствующих сторон воздуховода в свету;

- выбор толщины стенок воздуховодов, для обеспечения стабильной работы системы подачи воздуха. На практике толщина стенок воздуховода из листовой стали принимается в пределах от 3,0 до 5,0 мм. При уменьшении толщины стенки (от 1,5 до 2,5 мм) необходимо применять бандажи из L-образной профильной стали. Рекомендуется выполнение структурного анализа возможных деформаций;
- рекомендуемые скорости для подбора сечения воздуховодов от 10 до 15 м/с, несмотря на то что перед входом в горелку предусматриваются меньшие значения скоростей.

D.3.5. Уровень шума моноблочных / двухблочных горелок

Наряду с учетом рекомендаций раздела E.1.4 уже на стадии проектирования необходимо предусмотреть средства защиты от шума.

При выборе типа горелки (см. раздел C.4) в первом приближении можно принять следующие значения:

- уровень шума в дБ (A) (измеряется на расстоянии 1 м от горелки) в зависимости от типа моноблочной и/или двухблочной горелки, в зависимости от мощности топки и мощности вентилятора – от 82 дБ (A) до 115 дБ (A);
- при мощности двигателя вентилятора ≥ 8 кВт допускается уровень шума ≥100 дБ (A) (согласно информации от производителей).

При ожидаемых шумах выше 85 – 88 дБ (A) согласно ArbStättV и VDI 2058 необходимо предусмотреть шумоизоляцию (изолирующий кожух) в комбинации с шумопоглощением.

a) Для моноблочных горелок
Применение шумоизолирующих кожухов (изолирующий кожух или шумопоглощающий кожух) для снижения уровня шума на 15 – 20 дБ (A) в зависимости от шумоизоляционного материала.

b) Для двухблочных горелок
Устройство кожуха для вентилятора (при необходимости установка вентилятора на котле и/или установка в отдельном помещении (например, в подвале) под котлом). Существует множество вариантов выбора шумоизоляции.
В зависимости от исполнения достигается снижение уровня шума на 20 – 25 дБ (A).

При применении горелок в исполнении Low-NO_x в зависимости от обстоятельств может возникнуть необходимость в шумоизоляции горелки.

Примечание
Моноблочные горелки с подвижным шумопоглощающим кожухом требуют для демонтажа кожуха наличие соответствующего свободного пространства перед горелочным устройством.

Дополнительно к описанным в а) и б) возможностям минимизации шумов можно предусмотреть «вынос шумов» (воздушные шумы) за пределы помещения котельной с помощью системы дымоходов и дымовой трубы.

В зависимости от конструктивного исполнения системы отвода продуктов сгорания (например, двух- и/или трехходовой котел с экономайзером или без него, исполнение, тип и количество систем отвода продуктов сгорания, дефлекторов) можно достичь снижения шумов на 5 – 10 дБ (A) по сравнению с уровнем шумов на выходе из горелки.
Если требуется более существенное снижение шума, необходимо предусмотреть дополнительные меры по шумоизоляции, например, установку шумоглушителей в систему отвода продуктов сгорания.

Рекомендация
Определение параметров шумоглушителя (при последующем монтаже в систему отвода продуктов сгорания) на основании результатов измерений уровня шума после пуска паровой котельной установки в эксплуатацию.

Примечание

Информация по трубопроводам подачи топлива в разделе D.8.5.6.

Примечание

Наряду с шумоизоляцией горелок может возникнуть необходимость в шумоизоляции регулятора давления газа (аэродинамические шумы) и насосов.

D.3.6. Определение требуемого расхода древесного топлива (биомасса)

С учетом теплоты сгорания топлива и требуемой номинальной мощности котельной можно рассчитать расход древесины (биомассы). При этом важными факторами являются влагосодержание древесины и температура продуктов сгорания.

$$B = \frac{Q}{Hu} \times \eta$$

B – расход топлива (кг/ч)
Q – номинальная тепловая мощность (кВт)
Hu – теплота сгорания (кВтч/кг)
η – КПД

Теплота сгорания влажного топлива вычисляется по формуле:

$$H_u(W) = H_{u\,atro}\,(1-W) - \Delta h_v W$$

$$H_u\,(u) = \frac{H_{u\,atro} - \Delta h_v u}{1+u}$$

$H_{u\,atro}$ – теплота сгорания сухого топлива, МДж/кг сухой древесины
W – влагосодержание, кг/кг
Δh_v – теплота парообразования воды = 2,442 МДж/кг при 25 °C (стандартная температура для термохимических измерений)

Для обычной древесины при 25 °C:

$$H_u\,(u) = \frac{18{,}3 - 2{,}442u}{1+u}\ [МДж/кг]$$

Наряду с МДж/кг используют также кВтч/кг (1 кВтч = 3,6 МДж)

Пример:
Влагосодержание W = 30%, влажность древесины u = W/(1-W) = 0,3/(1-0,3) = 0,428 =42,8%$_{atro}$

$$H_u = \frac{18{,}3 - 2{,}442\ 0{,}428}{1 + 0{,}428} = 12{,}1\ МДж/кг = 3{,}4\ кВтч/кг$$

Теплота сгорания $H_{u\,atro}$ для абсолютно сухой древесины составляет в среднем 18,1 МДж/кг (5,0 кВтч/кг) для лиственных пород и 19,0 МДж/кг (5,3 кВтч/кг) для хвойных пород. Для расчета для обычной древесины ($CH_{144}O_{0,66}$) = 18,3 МДж/кг (5,1 кВтч/кг) [77]. Значения теплоты сгорания для растительного топлива ниже: около 17 МДж/кг (4,7 кВтч/кг) для травы, 17,5 МДж/кг (4,9 кВтч/кг) для соломы.

Рис. D.3.6–1: Теплота сгорания древесной биомассы в зависимости от влагосодержания

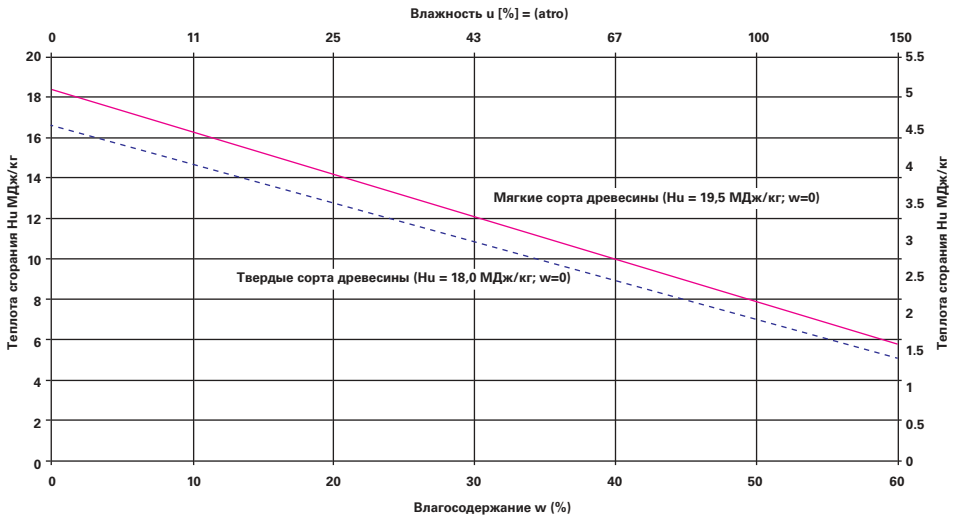
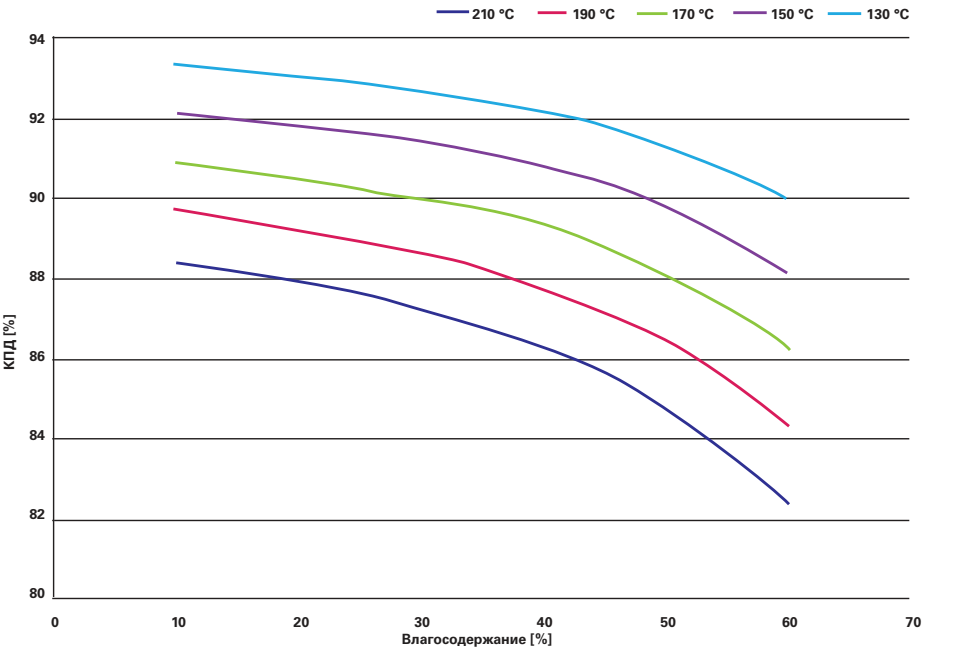


Рис. D.3.6–2: КПД в зависимости от влагосодержания топлива и температуры продуктов сгорания или нагрузки





Водоподготовка

Компания VIESSMANN предлагает установки для водоподготовки с учетом соответствующих положений о качестве питательной и котловой воды инструкции по проектированию «Качество воды» (раздел G.1. A.3) или DIN EN 12953-10 табл. 5.1/5.2 (см. также раздел C.5 и C.4).

Согласование отдельных компонентов для достижения требуемой паропроизводительности установки происходит с учетом типоряда, как это показано в разделе D.4.3.1. Компания VIESSMANN предлагает стандартные типо-ряды в зависимости от паропроизводительности котла (до 14 т/ч).

Это относится также к данным из раздела D.4.1 и 4.2. Если требуемая паропроизводительность попадает между двумя моделями типо-ряда, необходимо выбирать большую модель котла с большей паропроизводительностью.

При паропроизводительности котла 75 т/ч и выше направляйте Ваш запрос по адресу: info@viessmann.com[a].

[a] Для паропроизводительности котла более 14 т/ч в первом приближении можно воспользоваться техническим паспортом системы химической водоподготовки.

D.4.1. Установка полной деаэрации

D.4.1.1. Функции и характеристики

Установка полной деаэрации представляет собой монтажную группу, состоящую из деаэрационной колонки и бака запаса питательной воды. Во избежание коррозии деаэратор выполнен из нержавеющей стали. Деаэрационная колонка монтируется на баке запаса питательной воды.

Установка полной деаэрации служит для устранения растворенных в питательной воде газов до достижения величины остаточного содержания кислорода менее 0,02 мг/л и обеспечивает паровую котельную установку необходимым запасом питательной воды. Установка работает при небольшом избыточном давлении от около 0,1 до 0,3 бар.

Возвращаемый конденсат, а также химически очищенная вода распределяются в деаэраторе так называемыми чашами и смешиваются путем орошения с подаваемым встречным паром, который нагревает смесь конденсата и подпиточной воды до температуры кипения. Высвобождающиеся газы отводятся в атмосферу с помощью вентиля выпара, расположенного в высшей точке деаэратора.

В баке запаса питательной воды благодаря постоянной подаче пара через жестко вмонтированную барботажную трубку температура питательной воды поддерживается на уровне рабочей. Установка рассчитана на допустимое рабочее избыточное давление 0,5 бар. Предохранительный клапан защищает емкость от превышения давления. От понижения давления защищает вакуумный предохранитель.

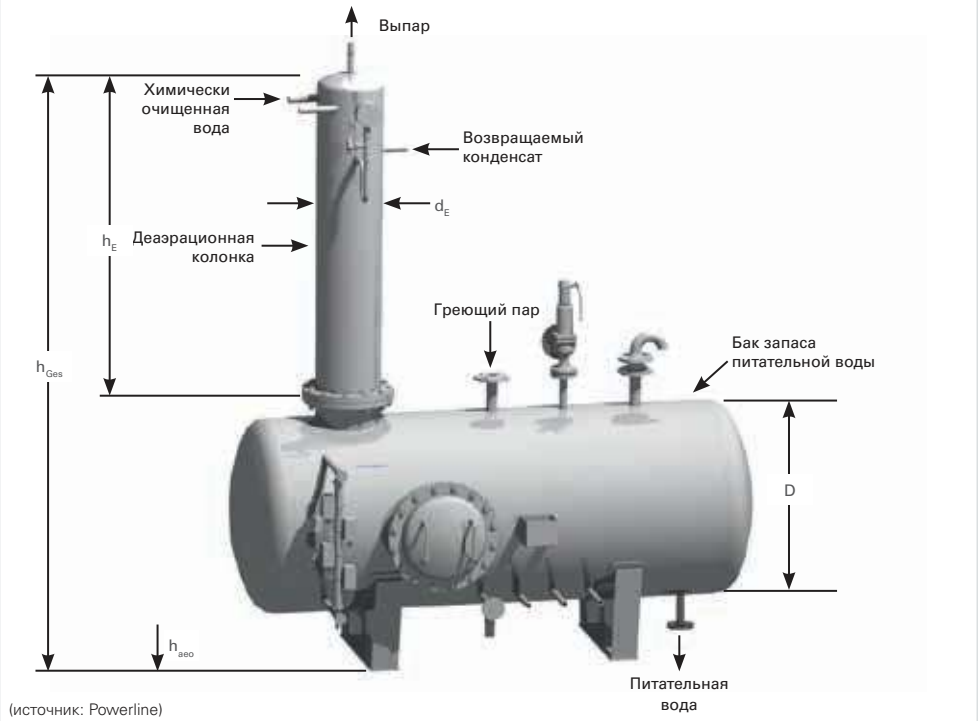
Условия для удовлетворительной работы установки:

- поддержание постоянной температуры в баке запаса питательной воды;
- непрерывная подача;
- обеспечение беспрепятственного отвода выпара;
- поддержание определенного уровня заполнения емкости;
- изоляция емкости;
- обеспечение геодезической высоты всасывания (Hgeo) до входного патрубка питательного насоса в зависимости от исполнения (значение NPSH), как правило, в диапазоне 2,5 – 4,0 м.

Примечание

Выбор слишком низкого напора может привести к парообразованию в насосе с эффектом конденсации пара и связанной с этим кавитацией (см. описание насосов в разделе D.6).

Рис. D.4.1.1–1: Установка полной деаэрации



(источник: Powerline)

D.4.1.2. Установка полной деаэрации

Показатели

- Минимальное время нахождения питательной воды (T) в баке запаса питательной воды ≥ 0,5 до ≤ 1,0 часа.
- Максимальное заполнение бака – 80%.
- Ориентировочной объем бака (V_{spw}) (м³) рассчитывается по формуле:

$$V_{spw} \sim \frac{\dot{m}_{FD/ges} \times (1+A) \times T}{0,8} \quad [м^3]$$

$\dot{m}_{FD/ges}$ – общий расход пара (т/ч)

A – процент непрерывной продувки парового котла (%)
~ ≥ 2 до ≤ 5%
≥ 0,02 до ≤ 0,05 [-]

- Ориентировочные показатели для деаэратора:
  объем конденсата > 50 до 100%,
  температура конденсата ≥ 70 °C,
  объем химически очищенной воды > 0 до 50%,
  температура химически очищенной воды 10 °C,
  температура питательной воды (на выходе из деаэратора 102 °C,
  разность температур в деаэраторе (нагрев) ~ 62 K.

D.4.2. Установка частичной деаэрации

D.4.2.1. Функции и характеристики

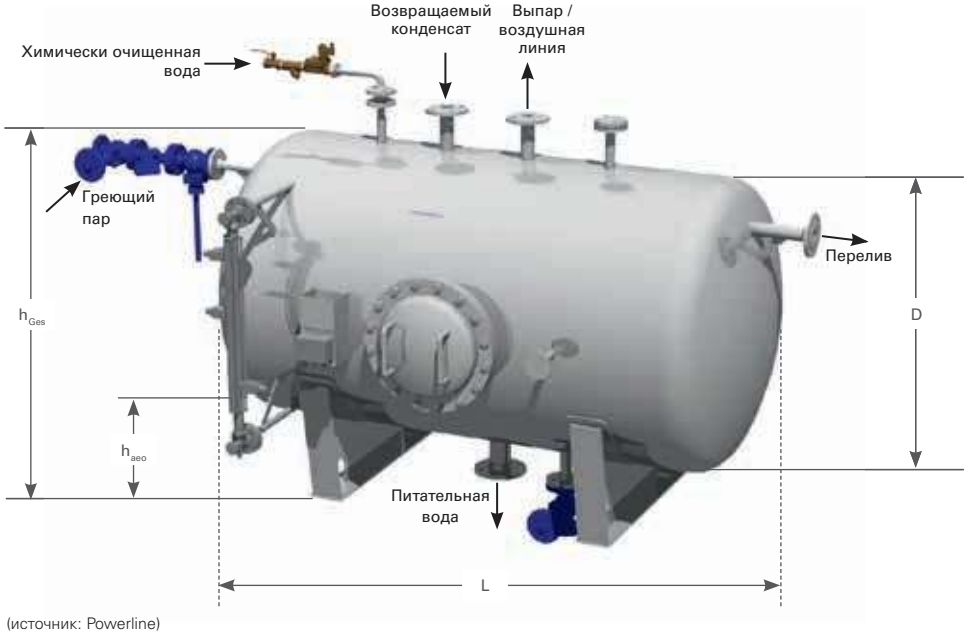
Установка частичной деаэрации служит для устранения растворенных в питательной воде газов до достижения величины остаточного содержания газов 1 мг/л и обеспечивает паровую котельную установку необходимым запасом питательной воды.

Деаэрация осуществляется при атмосферном давлении путем удаления воздуха из бака запаса питательной воды. Емкость оснащена дополнительными элементами для распределения и распыления подводимого конденсата и химически очищенной воды. С помощью барботажной трубы, встроенной в нижней центральной части емкости, осуществляется постоянная подача пара и за счет этого поддержание рабочей температуры на уровне 95 °C.

Условия для удовлетворительной работы установки:

- поддержание постоянной температуры в емкости питательной воды;
- обеспечение беспрепятственного отвода воды;
- поддержание уровня заполнения емкости;
- изоляция емкости.

Рис. D.4.1.2–1: Установка частичной деаэрации



(источник: Powerline)

Примечание

Выбор слишком низкого напора может привести к парообразованию в насосе с эффектом конденсации пара и связанной с этим кавитацией (см. описание насосов в разделе D.6).

D.4.2.2. Установка частичной деаэрации

Показатели
Для случаев, когда потребность в воде и количество пара невелики, компания VIESSMANN предлагает установки частичной деаэрации. Если заказчик запрашивает установку частичной деаэрации более высокой мощности, необходимо считаться с более высокой потребностью в химических реагентах для связывания остаточного кислорода.

При этом необходимо учитывать следующее:
содержание остаточного кислорода в питательной воде, прошедшей частичную деаэрацию, составляет 1,00 мг/л питательной воды. Для паровых котлов с допустимым рабочим избыточным давлением > 1 бара содержание газов в питательной воде должно составлять 0,02 мг/л.

Такие показатели содержания кислорода могут быть достигнуты только за счет непрерывного дозирования большего количества химических реагентов по сравнению с полной деаэрацией. Как следствие, в зависимости от количества часов работы возрастают эксплуатационные затраты и происходит нежелательное засаливание котловой воды (см. пример расчета ниже).

Объем емкости выбирается по аналогии с установкой для полной деаэрации.

Пример расчета затрат
Применение кислородосвязующих химических реагентов в установке частичной деаэрации. Представленный ниже расчет позволит сравнить расход химических реагентов в установке полной деаэрации с расходом химических реагентов в установке частичной деаэрации.
Исходные данные:
- расход химических реагентов для связывания кислорода составляет 50 мг/мг O_2;
- цена за кг таких химических реагентов составляет 6,50 евро.

Котельная установка со следующими характеристиками:

паропроизводительность котла ($\dot{m}_{FD}$)	–	3000 кг/ч
возврат конденсата	–	50%
температура питательной воды	–	95 °C при применении частичной деаэрации
содержание кислорода	–	1 мг/л при 95 °C
температура питательной воды	–	104 °C при применении полной деаэрации
содержание кислорода	–	0,02 мг/л при 102 °C
расход химических реагентов для связывания кислорода	–	50 мг/мг O_2
количество часов полной нагрузки в году (b)	–	6000 ч/год

Пример частичной деаэрации

3000 кг/ч x 1 мг/л x 50 мг/мг O2 x 50%/100 x 6000 ч/год x 10-6 кг/мг (реагент) = =450 кг/год x 6,50 евро/кг = 2925 евро/год

Пример полной деаэрации

3000 кг/ч x 0,04 мг/л x 50 мг/мг O2 x 50%/100 x 6000 ч/год x 10-6 кг/мг (реагент) = =18 кг/год x 6,50 евро/кг = 117 евро/год

В данном примере при применении полной деаэрации экономия затрат на химические реагенты составляет 2808 евро в год.

При применении полной деаэрации и ожидаемых дополнительных расходах 4200 евро срок окупаемости (A) рассчитывается по формуле:
A = 4200/2808 ~ 1,5 года.

Другие виды экономии:

- увеличение процента постоянной продувки (ΔA) на 2% из-за дополнительного обессоливания котловой воды;
- при применении установки полной деаэрации снижение количества обессоленной воды за год ($\dot{m}_{red}$) составляет:
  $\dot{m}_{red} = \Delta A \times \dot{m}_{FD} \times b = 0{,}02 \times 3000 \times 6000 = 360 \times 10^3$ кг/год = 360 т/год;
- экономия затрат ($\Delta K_{(red)}$) с учетом $\dot{m}_{red}$ и принятых здесь затрат на дополнительную питательную воду в размере 3,50 евро/т рассчитывается по формуле: $\Delta K_{(red)}$ = 360 т/год x 3,50 евро/т = 1260 евро/год;
- при этом дальнейшее сокращение срока окупаемости (A_{mo}) рассчитывается по формуле:
  $A_{mo(red)} = K_{vgA} / (\Delta_{VT} + \Delta K_{(red)}$
  = 4200/2808 +1260 = 1,03 года,

где:

K_{VgA} – дополнительные расходы при выборе установки полной деаэрации,

Δ_{VT} – разность затрат на химические реагенты при применении установки полной деаэрации.

D.4.3. Установка химической водоподготовки (установка уменьшения жесткости воды)

D.4.3.1. Функции и характеристики

Описание функций

В воде растворены в ионной форме окиси и гидроокиси щелочноземельных металлов кальция и магния. Их называют солями жесткости. В процессе эксплуатации котла при нагревании эти соединения образуют твердые отложения (накипь) на поверхностях нагрева.
Накипь препятствует теплопередаче от продуктов сгорания к теплоносителю.

На первом этапе это приведет к слишком высоким температурам уходящих газов, а значит, и к снижению КПД.
При последующем увеличении толщины накипи недостаточное охлаждение поверхностей нагрева может спровоцировать их разрушение. По этой причине нормы и стандарты требуют умягчения питательной воды.

Процесс образования накипи, например, карбоната кальция $CaCO_3$, при нагревании:

$Ca(HCO_3)_2$ ----> $CaCO_3 + H_2O + CO_2$

Для снижения жесткости воды применяются устройства с ионообменной смолой (катионитом). Катионит представляет собой синтетическую смолу в виде гранул шарообразной формы с активными группами в виде ионов натрия для процесса умягчения воды.

При прохождении жесткой воды через катионит ионы натрия замещаются ионами кальция и магния, растворенными в воде. Таким образом, из воды удаляются вредные для работы котла соли жесткости.

При истощении катионита, когда практически все ионы натрия заменены на ионы кальция и магния, он подлежит регенерации раствором хлорида натрия (каменной солью).

Ионы натрия в избытке пропускаются через катионит и замещают осевшие ионы кальция и магния, приводящие к образованию солей жесткости, после чего он вновь готов к применению. Этот процесс может повторяться неограниченное количество раз.

Умягчение:

$2R\text{-}Na^{+} + Ca^{++}/Mg^{++} \text{ ---> } R_2\text{-}Ca^{++}/Mg^{++} + 2\ Na^{+}$

Регенерация:

$R_2\text{-}Ca^{++}/Mg^{++} + 2\ Na^{+} \text{ ---> } 2R\text{-}Na^{+} + Ca^{++}/Mg^{++}$

Показатели

- Требования к сырой воде:
  - отсутствие механических примесей;
  - при качестве питьевой воды: отсутствие примесей железа и марганца.
- Максимальная общая жесткость сырой воды 30 °dH (немецкий градус жесткости).
- Максимальная температура сырой воды 35 °C.
- Минимальное время работы установки (фильтр) между двумя регенерациями 7 – 8 часов.
- Прямая проводимость котловой воды ≤ 6000 мкСм/см.
- Остаточная жесткость в подготовленной воде ≤ 0,056 °dH и соответственно ≤ 0,01 ммоль/л.
- Применение устройств с двумя ионообменными колоннами при соответствующем типоразмере (см. раздел D.4.3.1).

Рис. D.4.3.1–1: Типоразмеры и параметры химической водоподготовки

Параметр	Единица измерения	Значение							
Типоразмер		60	120	200	320	400	500	600	800
Номинальная пропускная способность (мощность)	**м³х °dH**	60	120	200	320	400	500	600	800
Мощность (пропускная способность фильтров)	**м³/ч**	1,0	1,5	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0
Наполнение ионообменника	**л**	15	30	50	80	100	125	150	200
Расход соли на одну регенерацию	**кг**	3	6	10	16	20	25	30	40
Объем емкости	**л**	100	100	200	300	300	300	300	520

Примечание

Для паропроизводительности котла > 14 т/ч в первом приближении можно воспользоваться техническим паспортом.

Расчет установки умягчения воды

Ниже представлены 8 типов установок с указанием их технических параметров, соотнесенных с производительностью парового котла (в зависимости от доли возвращаемого конденсата и общей жесткости применяемой необработанной воды) до 14000 кг/ч (см. рис. D.4.3.1-1).

Для паровых котлов производительностью > 14 т/ч до ≤ 75 т/ч необходим индивидуальный подход к расчету установок водоподготовки. Это же, как правило, касается величин, отклоняющихся от приведенных в D.4.3.1 значений. Ваши запросы направляйте, пожалуйста, по адресу: info@viessmann.com.

Максимально допустимая потребность в подпиточной воде ($V_{zu/spw(max.)}$)

$\dot{V}_{zu/spw(max.)} = BG / °dH \times T_Z$ [м³/ч]

Расчет № 1

Типоразмер = 800
Жесткость воды = 17 °dH
Время фильтрации (T_Z) = 7 ч

$\dot{V}_{zu/spw\ (max)} = BG / °dH \times T_Z$ [м³/ч]
= 800 / 17 °dH x 7ч

Таким образом, максимально допустимая потребность в подпиточной воде
$\dot{V}_{zu/spw(max)}$ = 6,72 м³/ч.

Комментарии к расчету № 1

Первое приближение:

- для паропроизводительности ($\dot{m}_{FD}$) > 6,72 т/ч требуется возврат конденсата ($\dot{m}_{KON}$) :
  $\dot{m}_{KON} \approx \dot{m}_{FD} - \dot{V}_{zu/spw}\ \varrho_m$ (т/ч)
  Допущение:
  средняя плотность воды принята равной: $\varrho_m \approx 1$ т/м³;
- при паропроизводительности ($\dot{m}_{FD}$) ≤ 6,72 т/ч
  и требуемом возврате конденсата постепенно увеличивается время фильтрации, при этом с целью обеспечения номинальной мощности пропускная способность фильтра (соответствующая номинальной мощности котла) не должна опускаться ≤ 10 – 20%.

Расчет № 2

Определение типоразмера (BG) по формуле:

$$BG = \frac{1}{\varrho_m}\left(\dot{m}_{FD}\left[1 + \frac{A}{100} \right] - \dot{m}_{KON} \right) \times T_Z \times °dH \quad [-]$$

безразмерная величина должна быть всегда меньше табличного значения типоразмера.

Исходные данные:

Паропроизводительность парового котла	$\dot{m}_{FD}$	= 8 т/ч
Возврат конденсата	$\dot{m}_{KON}$	= 2,8 т/ч ~ 35% доля возврата конденсата
Процент непрерывной продувки	A	= 5%
Жесткость сырой воды		= 17 °dH

Типоразмер (BG) определяется по формуле:

$$BG \geq \frac{1}{1}\left(8\left[1 + \frac{5}{100} \right] - 2{,}8 \right) \times 7 \times 17 = 666{,}4$$

BG принимается 800, при этом должно соблюдаться условие: $\dot{V}_{zu/spw(Zul.)} < \dot{V}_{zu/spw(max)}$

$$\dot{V}_{zu/spw(Zul.)} \leq \dot{V}_{zu/spw(max)} \leqq \frac{1}{1}\left(8\left[1 + \frac{5}{100} \right] - 2{,}8 \right) = 5{,}6 \text{ м}^3/\text{ч} \quad < 6{,}72 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Примечание

Для паропроизводительности более 10 т/ч.

Исходные данные:
жесткость = 17 °dH (немецкий градус жесткости);
возврат конденсата = 50%;
время работы фильтра T_Z = 7 ч;
максимальная скорость протекания через;
фильтрационную установку ≈ 38 м/ч;
конструкция установки идентична [A1].
Формула для определения требуемого диаметра фильтра (D_F):

$D_F = 0{,}18 \times \sqrt{\dot{N}_L}$ [м]

где $\dot{N}_L$ – это максимальная пропускная способность фильтра (м³/ч).

D.4.4. Установка обратного осмоса

D.4.4.1. Функции и характеристики

С помощью установки осмоса (на практике чаще: «установка обратного осмоса») производится дальнейшее обессоливание необработанной воды. Установка обратного осмоса работает только «физически» (см. раздел C.4.2). 70 – 98% применяемой воды получено путем полного обессоливания или частичного обессоливания. Вода, в которой необходимо понизить концентрацию солей, пропускается под давлением через полупроницаемую мембрану, которая удерживает растворенные в воде соли (ионы). Мембраны в так называемых модулях имеют настолько малые поры, что пропускают более малые молекулы воды, а более крупные катионы, анионы и крупные органические молекулы задерживают. Модули из полиамида могут применяться для воды с показателем pH от 4 до 11, а модули из ацетилцеллюлозы – для воды с показателем pH от 4 до 7. Оба материала выдерживают температурный режим до 30 °C (идеально 15 – 20 °C).

Давление необработанной воды должно быть выше, чем осмотическое давление обессоленной воды, которое зависит от содержания солей в необработанной воде. Растворенные в необработанной воде соли (ионы) задерживаются на стороне необработанной воды (концентрат), а обессоленная вода (раствор) отводится в специальную емкость. Таким способом из 1 м³ необработанной воды получается 0,75 – 0,9 м³ обессоленной воды. Такая технология, в зависимости от исполнения установки, может удалить из необработанной воды до 99% солей.

Во избежание блокировки установки обратного осмоса рекомендуется предварительное подключение установки уменьшения жесткости воды.
Для установок производительностью < 3 – 5 м³/ч для защиты от блокировки в необработанную воду добавляется антискейлант (антинакипин), который затем удаляется. Этот умягчитель применяется исключительно для обессоленной воды и воды с незначительной остаточной жесткостью от 0,3 до 0,5 °dH (немецкий градус жесткости).

Установки обратного осмоса нашли широкое применение на практике: позволяют экономить «место», просты в техническом обслуживании и оправдывают себя при непрерывной эксплуатации. Химические реагенты для регенерации не требуются. Время эксплуатации модулей до 5 лет.
Для установки обратного осмоса обязательно подключение установки полной термической деаэрации с целью предохранения от CO_2 – поверхностной коррозии. Наряду с содержанием солей карбонатная жесткость воды (также называемая щелочность, m-показатель или значение $K_{S4,3}$) оказывает существенное влияние на необходимость постоянной продувки. Основанием для этого являются (в зависимости от карбонатной жесткости) рабочее давление котла, возврат конденсата, образующаяся щелочность котловой воды (распад карбоната натрия), которая при превышении граничных значений (p-значение или $K_{S8,2}$ > 8 при давлении > 20 бар, до 12 при < 20 бар) очень быстро приводит к повышенному проценту постоянной продувки. При значениях карбонатной жесткости 5 °dH, рабочем давлении > 5 бар и доле возврата конденсата < 20%, постоянная продувка достигает 10% и тогда обосновано применение обратного осмоса.

Применение установки обратного осмоса рекомендовано при:
- содержании солей 800 – 1000 мкСм/см;
- карбонатной жесткости > 5° dH и незначительном или нулевом возврате конденсата (до 10 – 20%);
- незначительный возврат конденсата или его отсутствие;
- при рабочем давлении в котле > 5 бар (если возникают вышеперечисленные условия);
- всегда там, где ранее применялась декарбонизация.

При применении установки обратного осмоса снижается процент постоянной продувки до < 1%.
Характеристики установки обратного осмоса:
- непрерывная работа;
- необработанная вода соответствует качеству питьевой воды;
- температура необработанной воды ≤ 30 °C;
- рекомендуется к применению при проценте постоянной продувки (A) ≥ 8 – 10%, в зависимости от расхода острого пара ($\dot{m}_{FD}$).

Процент постоянной продувки (A_i) может быть оценен с помощью:

а) $K_{S8,2}$ (p-значение как свободная щелочность) – моль/л,

б) электропроводности – мкСм/см,

в) содержания кремневой кислоты – мг/л,

по формуле:

$$A_i = \left(1 - \frac{\dot{m}_{Kon}}{\dot{m}_{FD}}\right) x \frac{R}{K - R} \times 100 \quad [\%]$$

где:

$\frac{\dot{m}_{Kon}}{\dot{m}_{FD}}$ [доля возврата конденсата]

$\dot{m}_{Kon}$ – массовый расход конденсата

$\dot{m}_{FD}$ – массовый расход пара

R – существующие значения а) б) в) в необработанной воде по итогам химического анализа воды

K – предельные значения а) б) в) в котловой воде согласно Инструкции по проектированию «Качество воды для паровых котлов»

Примечание

Максимальный процент постоянной продувки (A_i) определяется в соответствии с режимом эксплуатации.

Расчет № 1

Содержание солей

Доля возврата конденсата 50%

	pH 8,2 ≙ $K_{S8,2}$ моль/л свободная щелочность, p-значение	**Электропроводность (мкСм/см) при 25 °C**	**SiO_2 – кислота в котле (мг/л)**
(R) Дополнительная вода	1 [> 0,1 – ≤ 1 в соответствии с (L2)]	800	13
(K) Предельные значения для котловой воды (согласно DIN EN 12953-10)	12	6000	150
Требуемый процент постоянной продувки A_i (%)	$A_i = (1 - 0{,}5) x \frac{R_{a)б)в)}}{K_{a)б)в)} - R_{a)б)в)}} \times 100$		
A_i [%]	$A_{a)} = 4{,}54$	$A_{б)} = 7{,}9$	$A_{в)} = 4{,}74$

$A_{b)} = 7{,}9\% > A_{a)}$ и $A_{c)}$

Примечание

С уменьшением доли возврата конденсата увеличивается процент непрерывной продувки. При этом увеличивается «экономичность» установки обратного осмоса.

Расчет № 2

Окупаемость затрат на установку обратного осмоса по сравнению ионнообменной колонкой для снижения жесткости воды:

- требуемый процент непрерывной продувки ≈ 8% (без осмоса)
- процент непрерывной продувки ≈ 1%
- возврат конденсата ≈ 50%
- паропроизводительность котла ($\dot{m}_{FD}$) ≈ 12 000 кг/ч
- номинальное давление пара (p_B) ≈ 12 бар
- количество часов работы при полной нагрузке (b) = 6000 ч (за год)
- общая жесткость необработанной воды = 17 °dH
- карбонатная жесткость необработанной воды = 6,8 °dH
- требуемые дополнительные расходы (Δk) ≈ 16 280 евро при применении установки обратного осмоса в качестве альтернативы ионнообменной колонке определяется на основании соответствующих предложений (по состоянию на 12/2007).

В случае применения установки обратного осмоса годовое снижение объема продувочной воды ($\dot{m}_{Red}$) можно рассчитать по формуле:

$$\dot{m}_{Red} = \frac{\Delta A}{100} \times \dot{m}_{FD} \times b \times 10^{-3} \frac{т}{кг} = \frac{(8 - 1)}{100}\ 12\,000 \times 6\,000 \times 10^{-3}\ \frac{т}{кг} = 5\,040\ т/год$$

Если принять стоимость расходов на необработанную воду в размере 3,50 евро/т, то годовая экономия $\Delta k_{(red)}$ = 5040 т/год x 3,50 евро/т = 17 640 евро/год, а предположительное время амортизации составит при этом $A_{mo} = \Delta k / \Delta k_{(red)}$ = 16 280 / 17 640= 0,92 года.

D.4.5. Химический анализ воды / общие положения

На воду или пар, которые используются вразличных установках, распространяются требования по содержанию допустимых примесей. В зависимости от давления генерируемого пара следует соблюдать определенные требования – инструкцию по проектированию «Качество воды для паровых котельныех установок для паровых котлов низкого и высокого давления». Соблюдение приведенных граничных показателей является гарантией надежной и экономичной эксплуатации котельной установки.

Для выполнения этих требований, необходимо осуществлять обработку исходной сырой воды. Применяемые для этого технологии, как правило, представляют собой комбинацию химической и термической водоподготовки. В установке для снижения жесткости (умягчения) воды связываются и выводятся содержащиеся в исходной воде соли жесткости (см. раздел C.5.1 «Химическая водоподготовка»). Кроме того, в воде растворены газы, которые высвобождаются при нагреве воды в паровом котле и неизбежно приводят к коррозии как котла, так и паровой системы в целом.

По этой причине химочищенная вода из установки для снижения жесткости воды подается на термическую подготовку (дегазацию) в деаэратор совместно с возвращенным от потребителя конденсатом.

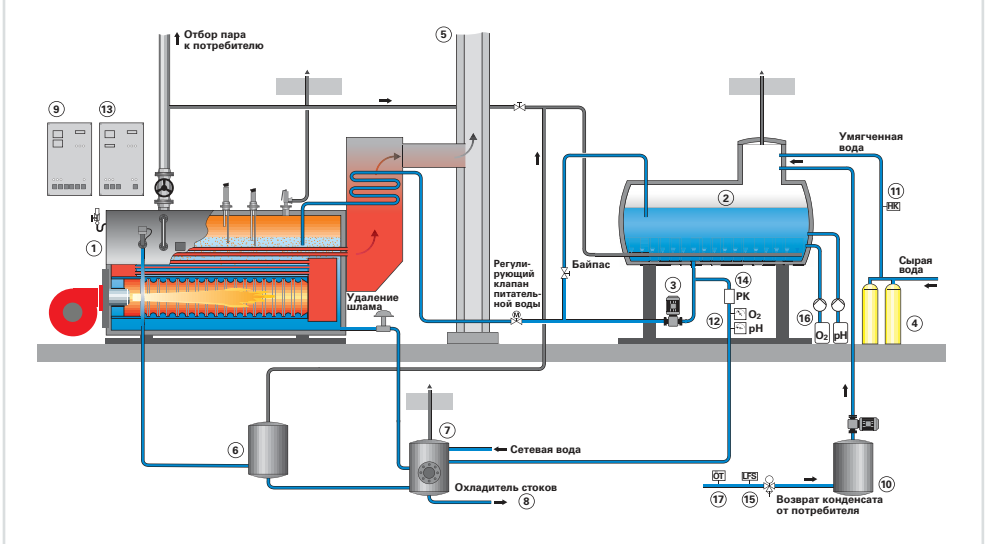
Для обеспечения нормативной концентрации остаточного кислорода в питательной воде (максимум 0,02 мг/л) его дополнительно связывают с помощью химических реагентов.
Применение только химических реагентов для связывания кислорода в большинстве случаев экономически нецелесообразно. (см. раздел D.4.5.2).

Описанные выше технологии прошли проверку временем. Тем не менее в процессе эксплуатации не исключены ошибки. По этой причине компания VIESSMANN разработала специальную концепцию комплектных поставок или иными словами комплексные решения для паровых котельных установок. Кроме того, наше решение позволяет на самой начальной стадии проработки проекта исключить ошибки в подборе основного оборудования котельной.

Весь объем оборудования поставляется в рамках единого договора на согласованных условиях, с одним юридически лицом, отвечающим за комплектность, сроки поставки, качество оборудования, за его сервис и гарантию На рисунке ниже представлены возможные варианты химического анализа воды.

На рисунке ниже представлена возможная компоновка паровой котельной установки.

Рис. D.4.5–1: Вариант компоновки



1. Паровой котел с горелкой
2. Термическая водоподготовка
3. Питательный насос котла
4. Установка умягчения
5. Дымовая труба
6. Сепаратор непрерывной продувки
7. Охладитель стоков
8. Слив в канализацию
9. Электрощит управления котлом
10. Бак сбора конденсата
11. Контроль жесткости
12. Измерение показателей O_2 и pH
13. Общекотельный электрощит с SPS (контролером) и возможностью съема эксплуатационных параметров внешней системой
14. Охладитель проб для химического анализа
15. Измерение электропроводности
16. Дозирование корректирующих химических реагентов
17. Контроль содержания масел и нефтепродуктов

Контроль жесткости в умягченной воде и конденсате
Контроль жесткости воды осуществляется после умягчения воды и, если необходимо, дополнительно в системе отвода конденсата (см. раздел D.5.3). Система контроля жесткости осуществляет контроль остаточной жесткости в умягченной воде (непрерывно и без расхода химических реагентов и воды). О нарушении жесткости свидетельствует индикация «жесткая вода», а также путем беспотенциального контакта (подключение к SPS) передается сигнал для оптического или акустического переключения и/или отключения системы химической водоочистки.

Принцип работы
Встроенный в трубопровод умягченной воды датчик перепада давления создает незначительный перепад давления, с помощью чего часть воды направляется через встроенный в байпас на датчик жесткости и затем возвращается обратно. Датчик реагирует на изменение жесткости воды. При этом сжимается находящаяся в датчике специальная смола и сигнал передается в систему регулирования. При этом зажигается индикация «жесткая вода». Беспотенциальный контакт используется для подтверждения оптического сигнала и/или для включения/отключения устройства уменьшения жесткости воды (с двумя ионнообменными колоннами).

Измерение O_2
Важность непрерывного измерения концентрации растворенного в воде кислорода для контроля питательной воды сложно переоценить.
- Допустимы лишь незначительные концентрации кислорода (менее 0,02 мг/л), в противном случае возникает опасность кислородной коррозии.
- На этом основании со стороны подачи воды обязательно подключение установки термической или химической водоподготовки. Эксплуатация такой установки должна быть непрерывной.
- Периодический анализ содержания кислорода в лабораторных условиях сопряжен с риском возможной ошибки по причине некорректного отбора проб.
- Непрерывное же измерение позволяет в любой момент времени получить истинные значения и считать их из памяти системы SPS.
- Если для многокотловой установки предусмотрена система термической водоподготовки, то дополнительная выработка пара должна быть согласована с реальным количеством питательной воды, благодаря чему возможно достичь существенной экономии энергии (раздел D.7.3).

Принцип работы
За охладителем проб монтируется датчик, состоящий из катода (золото), анода (серебро), электролита и мембраны. Диффузия кислорода через мембрану осуществляется благодаря парциальному давлению. В электродах создано поляризационное напряжение. В определенной области измеряемый ток зависит от концентрации поступающего кислорода.

Измерение pH
Значение pH указывает на степень кислотности или щелочности питательной воды. С его помощью можно определить содержание CO_2. Другими словами, чем ниже значение pH, тем выше содержание CO_2. Во избежание коррозии значение pH должно колебаться в пределах 9 – 10, но в любом случае превышать 9. Однако оно не должно превышать 10, чтобы предотвратить образование гидроокиси натрия.

Основание
В процессе химической водоподготовки во избежание образования накипи с помощью ионообменников ионы кальция и магния, содержащиеся в окисях и гидроокисях щелочноземельных металлов в воде, заменяются на ионы натрия. При этом образуется гидрокарбонат натрия. При кипении под давлением он распадается на углекислый натрий (сода) и CO_2. При более высоких давлениях образуется Na-OH (гидроксид натрия) и CO_2 – так называемое расщепление соды. Поскольку CO_2 во влажной среде приводит к коррозии так же, как и O_2, следует предотвратить его образование.

Принцип работы
При измерении pH измеряется разность потенциалов (напряжение в мВ). Разность потенциалов – это разность между опорным (эталонным) напряжением на электроде сравнения (прямой контакт с электролитом) и напряжением на измерительном электроде (контакт с электролитом через ионоселективную мембрану) (для ионов H+). Для достижения качественных результатов измерения необходимо обеспечить хорошую электрическую связь между измерительным элементом и эталонным электролитом. На этом основании применяется жидкий электролит, даже если некоторая его часть перетекает в измерительный элемент.

Измерение электропроводимости
Измерение электропроводимости осуществляется в баке сбора конденсата, но предпочтительнее в конденсатопроводе. Что позволяет фиксировать попадание в конденсат посторонних примесей. С помощью подключенного трехходового вентиля осуществляется отвод загрязненного конденсата, и он не попадает в бак для питательной воды. При опасности попадания масел система измерения электропроводимости дополняется соответствующим сигнальным устройством (см. измерение масляного осадка).

Принцип работы
Измерению подлежит электропроводимость конденсата для фиксации ионных примесей. Это осуществляется с помощью двух электродов, в которых благодаря измерительному преобразователю устанавливается постоянное напряжение. Если напряжение в электролите (конденсате) изменяется сверх допустимого значения, это свидетельствует о наличии примесей.

Измерение масляного осадка
Типичными примесями в конденсате, кроме упомянутых солей и щелочей, являются примеси масел и жиров. Если существует опасность масляных примесей, необходимо осуществлять соответствующий контроль конденсата. В этом случае система химического анализа расширяется на блок контроля масляных примесей, с системой их оценки и системой отвода отягощенного конденсата.

Принцип работы
Сигнал о наличии масляных примесей и осадков – это визуальный сигнал. Контролируемый поток конденсата просвечивается источником света. Напротив источника света установлен приемник. Если конденсат не загрязнен, световой сигнал принимается без помех. При наличии масел, сывороток и прочих осадков происходит отклонение луча света. Следствием отклонения является сигнал о помехах и отвод конденсата. Отвод конденсата осуществляется через трехходовой вентиль. Загрязненный конденсат не должен попасть в систему сточных вод. Отвод конденсата осуществляется через так называемую «систему обезжиривания».
Пример: предельные значения для масел /жиров – ≤ 3 мг/л.

- При значениях > 3 мг/л -> предупреждающий сигнал с квитированием.
- При значениях ≥ 5 мг/л -> отключается и блокируется горелочное устройство.

Регулирование
Все измеряемые величины выводятся на систему SPS, обрабатываются и выводятся на графический дисплей. Все превышения установленных граничных значений регистрируются.
Как измеряемые величины, так и сообщения о неисправностях с помощью специального интегрированного интерфейса шины могут быть переданы на регулятор более высокого уровня.

Регулирование дозирования химических реагентов (в зависимости от установленного в процессе измерений качества воды) позволяет избежать избыточного дозирования.

На основании результатов измерений содержания остаточного кислорода осуществляется регулирование расхода пара в соответствии с требуемым количеством питательной воды. Это способствует значительной экономии топлива.

Шкаф химического анализа
Для регулярного проведения химического анализа дополнительной воды, питательной воды и котловой воды компания VIESSMANN предлагает шкаф химического анализа со всеми необходимыми приспособлениями и реагентами. С его помощью возможно проведение следующих видов химического анализа:

- определение остаточной или общей жесткости;
- определение p-значения и m-значения;
- определение содержания сернистокислого натрия (вещества, связывающего остаточный кислород);
- определение содержания фосфатов (связывание остаточной жесткости и подщелачивание).

Средства дозирования корректирующих химических реагентов
Для поддержания щелочности питательной воды, для связывания остаточной жесткости и для связывания остаточного кислорода в питательную воду добавляют корректирующие химические реагенты. Фирмы, специализирующиеся на водоподготовке, предлагают для этого широкий ассортимент продуктов. Технологию применения необходимо согласовывать с фирмой-продавцом.

В большинстве случаев применяются два различных химических вещества: одно – для устранения остаточной жесткости путем подщелачивания питательной воды, другое – для связывания остаточного кислорода. На этом основании необходимо всегда применять две дозирующие станции.

Компания VIESSMANN предлагает химические вещества для связывания кислорода и остаточной жесткости, а также для повышения щелочности котловой воды. Данные химические вещества предусмотрены для комплектации заводом-изготовителем и поставляются в двадцатипятикилограммовых канистрах.



Конденсатное хозяйство

В данном разделе подробно рассматриваются конденсатные системы, представленные в разделе C.6.

Производится сравнение открытой системы сбора конденсата с закрытой системой. На примере расчета показано, в каких случаях имеет смысл применять закрытые системы сбора конденсата.

D.5.1. Описание функций «открытых» систем сбора конденсата

При нестандартном количестве возвращаемого конденсата (свыше 14 м³/ч) и/или при наличии «закрытой» системы (см. D.5.2), пожалуйста, направляйте Ваши запросы по адресу: info@viessmann.com.

D.5.1.1. Ориентировочные значения для расчета

Станция сбора конденсата служит для сбора и возврата конденсата, отведенного от потребителей к котельной установке и для повторного применения в качестве питательной воды для котла.

За счет удаления воздуха из бака в атмосферу, обеспечивается беспрепятственный приток конденсата. Сбор конденсата может быть дополнительно усовершенствован путем размещения установки ниже уровня потребителей.

Конденсатные насосы (как правило это 2 x 100%) забирают конденсат из бака и подают его в деаэрационную установку.

Баки сбора конденсата оснащены несколькими патрубками для:
- подачи конденсата;
- подачи конденсата (резерв);
- отвода конденсата (подключение конденсационных насосов);
- удаления воздуха / выпара;
- перелива;
- дренажа (опорожнения),

а также ревизионным отверстием (узкий смотровой люк и/или смотровой лаз) и индикатором уровня и регулированием уровня.

Бак и насосы установлены на общей платформе из стали и для своей установки не требуют специального фундамента. Достаточно, если основание для установки платформы плоское и способно выдержать нагрузку.

Во избежание излишних потерь энергии из-за дополнительного парообразования в возвращаемом конденсате (пар вторичного вскипания), предпочтительно применение открытых систем сбора конденсата только при ожидаемых температурах конденсата не выше 100 °C.

В противном случае лучше применять закрытую систему, описанную в D.5.2.

Ориентировочные значения
- Ожидаемые температуры конденсата ≤ 95 °C.
- Полезный объем емкости: V_n [a] ≈ 0,8 ($\dot{m}_{Kon}$/2 до $\dot{m}_{Kon}$/3) [м³].

где:

$\dot{m}_{Kon}$ – максимально возможное поступление конденсата (т/ч);

мощность конденсатных насосов ($\dot{V}_{KON}$) с подпиткой деаэратора (м³/ч).

Допущение

Предполагается постоянная подпитка деаэратора. На этом основании:

$$\dot{V}_{KON} = \frac{\dot{m}_{KON}}{\varrho_{KON}} \times f \quad [м^3/ч]$$

где ϱ_{KON} – плотность конденсата, в зависимости от его температуры (см. приложение табл. 2.2).

Коэффициент запаса (f).
С помощью коэффициента запаса достигается надежный запас мощности насоса, в зависимости от исполнения деаэратора (перепада температур в деаэраторе).
Исходя из опыта, рекомендуется применять значения f ≈ в 1,1 ÷ 1,5.

- Величина напора конденсатных насосов (H_{KON}) с учетом подпитки деаэратора (м вод. ст. и/или бар) рассчитывается как сумма напоров:

$$H_{KON} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - h_5 \text{ [м вод. ст./бар]}$$

где:
- h_1 – избыточное давление в деаэраторе,
- h_2 – разность отметок расположения бака сбора конденсата и точки подпитки в деаэраторе,
- h_3 – потери на трения по длине в трубе,
- h_4 – местные сопротивления элементов трубопровода (фитинги, арматура и т. п.),
- h_5 – выигрыш в давлении за счет избыточного давления в баке сбора конденсата (актуально только для «закрытых» систем).

Примечание

Для случаев, когда количество возвращаемого конденсата более 14 м³/ч, но менее 75 м³/ч, в первом приближении могут быть применены габаритные размеры из технических паспортов компании VIESSMANN.

[a] В данном случае предусматривается постоянный расход конденсата от потребителя. Если ожидается нестабильный возврат конденсата (что, к сожалению, на практике встречается чаще всего), необходимо рассчитать полезный объем: **$V_n \approx 0,8$ ($\dot{m}_{Kon}$ до $\dot{m}_{Kon}$/2)**. Необходимо иметь точную информацию от заказчика о режимах потребления.

Примечание

В разделе D.8 более подробно рассматривается возможный расчет h_3 и h_4.

h_1 ≈ 0,5 бар
h_2 ≈ 4 м вод. ст./бар ≙ 0,4 бар
$h_3 + h_4$ ≈ 0,15 x ($h_1 + h_2$) ≈ 0,135 бар
h_5 = 0

Таким образом, требуемая величина напора конденсатных насосов (H_{KON}) равна 15,35 м вод. ст., что приблизительно равно 1,5 бар.

Рис. D.5.1.1–1: Открытая система



Рис. D.5.1.1–2: Бак сбора конденсата высокого давления



D.5.2. Описание функций «закрытых» систем сбора конденсата

«Закрытые» системы сбора конденсата, с точки зрения их конструкции, более распространены, чем «открытые» системы. В данном случае в подключенные баки поступает конденсат высокого давления при температурах свыше 100 °C и различных переменных давлениях.

Баки сбора конденсата представляеют собой сосуды под давлением и подлежат контролю специализированными органами надзора.

Основные преимущества «закрытых» систем сбора конденсата:

- не происходит попадание кислорода из воздуха в систему сбора конденсата;
- возможные явления кавитации в насосе минимизируются;
- не возникают потери за счет вторичного вскипания конденсата;
- уменьшение теплопотребления установки благодаря использованию конденсата с более высокими температурами.

Баки оснащены необходимыми патрубками, как это описано в D.5.1, но без патрубков для удаления воздуха / выпара, а дополнительно с:

- предохранительным клапаном;
- автоматическим воздухоудалением;
- отводом пара вторичного вскипания с предпочтительным отводом в деаэратор и/или емкость для питательной воды;
- подключением пара для стабилизации давления в емкости.

Конденсатная станция служит, как это описано в D.5.1, для сбора возврата в паровую котельную для повторного использования конденсата.

Конденсатные насосы (как правило это 2 x 100%) забирают конденсат из бака и подают его в деаэрационную установку.

Бак и насосы установлены на общей платформе из стали и не требуют специального фундамента. Достаточно того, чтобы основание для установки платформы было плоским и способным выдержать нагрузку.

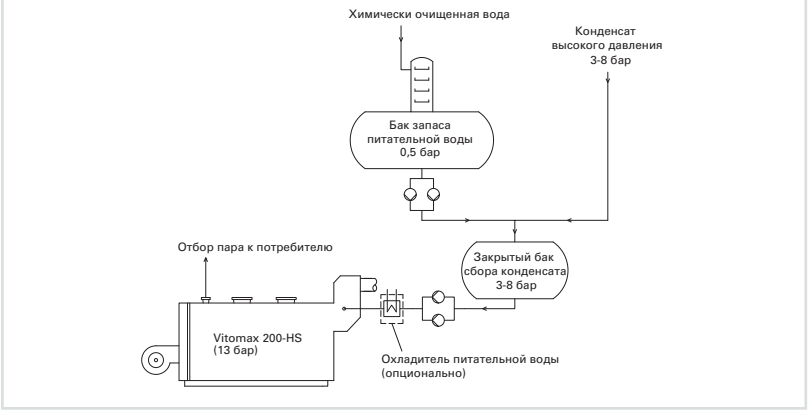
D.5.2.1. Ориентировочные значения для расчета

См. описание в D.5.1, а также дополнительно:

- ожидаемая температура конденсата ≥ 100 °C;
- выигрыш в давлении благодаря избыточному давлению в емкости для сбора конденсата $h_5 \approx 0{,}2$ бар;
- применение подающих (нагнетательных) насосов с низкими значениями NPSH (NPSH – допускаемый кавитационный запас (насоса); наибольшее значение допустимой геометрической высоты всасывания; критическая высота всасывания) (например, насосы с байпасом);
- на практике конденсат высокого давления смешивается с химически очищенной водой в промежуточной емкости, а затем с помощью высоконапорных насосов (насосов высокого давления) подается в паровой котел. См. схемы в приложении 1.

Недостающее количество (количество дополнительной питательной воды, рассчитывается по формуле: $\dot{m}_{spw} = \dot{m}_{FD} - \dot{m}_{KON}$, подается в бак для сбора конденсата через установку термической водоподготовки.

Рис. D.5.2.1–1: Возврат конденсата высокого давления при незначительной потребности в необработанной воде



Охладитель питательной воды (опция), не повредить экономайзер.

Рис. D.5.2.1–2: Возврат конденсата высокого давления (при приблизительно одинаковых расходах)

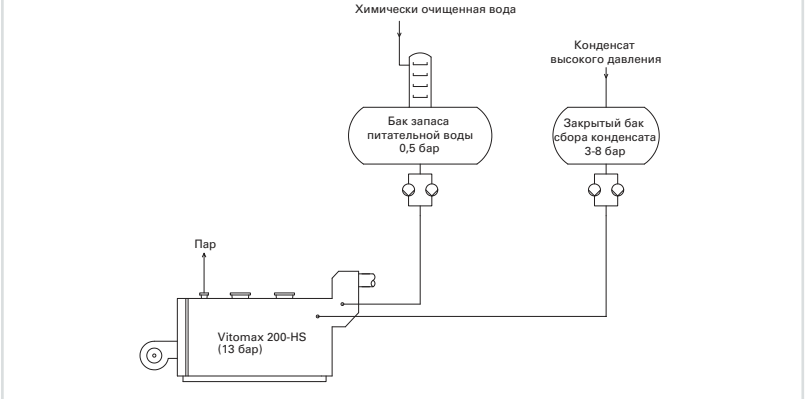


Рис. D.5.2.1–3: Сравнение открытой и закрытой системы сбора конденсата

Конденсатная система		Открытая	Закрытая
Избыточное давление конденсата	бар	0	3 – 8
Температура конденсата	°C	95	133 – 158
Пар вторичного вскипания [a)]	%	6,5 – 11,0	0
Теплопотери [б)]	кВтч/т	49 – 83	0
Потери воды	кг/т	65 – 110	0

Пример расчета

Амортизация (срок окупаемости) при применении «закрытой» конденсатной системы:

Исходные данные:

паропроизводительность котла	$\dot{m}_{FD}$	= 12 000 кг/ч	
давление пара	p_B	= 13 бар	
максимальный возврат конденсата	$\dot{m}_{KON}$	= 6000 кг/ч	при
давлении конденсата	p_{KON}	= 5 бар	и
температуре конденсата	T_{KON}	= 158 °C	
температура умягченной воды	T_{RW}	= 15 °C	
удельная теплоемкость	c_P	= 0,001163 кВтч/кгK	
температура питательной воды	T_{spw}	= 104 °C после деаэратора	
затраты на умягченную воду	k_{RW}	≈ 3,5 евро/т	
затраты на природный газ (E)	k_E	≈ 0,414 евро/нм³	
низшая теплота сгорания природного газа (E)	H_i	≈ 10,35 кВтч/нм³	
количество часов работы на полной мощности	b	= 6000 ч/год	

Примечание

Величины противодавления до 5,0 бар на практике вполне реальны и могут существенно увеличить эффективность установки (см. рис. 5.2.1-2).

Подвод конденсата высокого давления осуществляется в распределительную гребенку согласно схеме приложения A.1 при соблюдении величины напора и производительности питательного насоса (TRD 401, 3):

величина напора насоса ≈1,1 x p_B (бар)
соответственно,
производительность насоса ≈1,25 x $\dot{m}_{FD}$ (т/ч),
где:

p_B – рабочее давление парового котла,
$\dot{m}_{FD}$ – производительность парового котла.

Несмотря на то что закрытая система сбора конденсата почти в два раза дороже по сравнению с открытой системой, учитывая потенциал экономии можно рассчитывать на время амортизации от полугода до 2 лет в зависимости от ежегодного количества часов работы при полной нагрузке (см. пример расчета).

а) см. рис. D.5.2.1-3.

б) При энтальпии (теплосодержании) пара 0,75 кВтч/кг и при атмосферном давлении.

Потенциал экономии (E) по сравнению с открытыми системами:
E_1 – экономия необработанной и умягченной воды ($\Delta k_{RW(E1)}$) из-за отсутствия испарения при снижении давления конденсата при p_{KON} = 5 бар при атмосферном давлении p_{ath} = 0 бар[a] из:

$$\Delta k_{RW(E1)} = (11 \text{ кг пара / } 100 \text{ кг конденсата}) \times \dot{m}_{KON} \times b \times k_{RW} \text{ (евро/год)},$$

$\Delta k_{RW(E1)}$ = 0,11 x 6000 x 6000 x 3,5 x 10^{-3} т/кг,
$\Delta k_{RW(E1)}$ = 13 860 евро/год.

E_2 – экономия топлива ($\Delta k_{B(E2)}$) благодаря отсутствию нагрева дополнительного количества умягченной воды ($\dot{m}_{RW}$), рассчитывается по формуле:

$\dot{m}_{RW}$ = (11 кг **пара** / 100 кг **конденсата**) x $\dot{m}_{KON}$
$\dot{m}_{RW}$ = 0,11 x 6000
$\dot{m}_{RW}$ = 660 кг/ч
при КПД парового котла $\eta_K \approx 89\%$[b] получается экономия:

$$\Delta k_{B(E2)} = \frac{\dot{m}_{RW} \times c_p \times (T_{spw} - T_{RW})}{H_i \times \eta_K} \times b \times k_E = \frac{660 \times 0{,}001163 \times (104 - 15)}{10{,}35 \times 89/100} \times 6000 \times 0{,}414 = 18\,422 \text{ евро/год}$$

E_3 – экономия топлива ($\Delta k_{B(E3)}$) в связи с повышенной температурой питательной воды на входе в паровой котел за счет подмешивания питательной воды (t_{spw} = 104 °C) к конденсату в закрытом баке сбора конденсата с (t_{KON} = 158 °C), до температуры смеси питательной воды ($t_{spw/M}$) в баке сбора конденсата.
Температура смеси питательной воды в баке сбора конденсата (T_{spw}/M) рассчитывается по формуле:

$$T_{spw/M} = \frac{T_{KON} \times \dot{m}_{KON} + T_{spw} \times \dot{m}_{spw}}{\dot{m}_{KON} + \dot{m}_{spw}} \text{ (°C)} \qquad \text{при этом: } \dot{m}_{spw} = \dot{m}_{FD} - \dot{m}_{KON} \text{ [кг/ч]}$$

Примечание: процент непрерывной продувки (A) принимается равной «0»!
Таким образом, температура смеси составляет:

$$T_{spw/M} = \frac{T_{KON} \times \dot{m}_{KON} + T_{spw} \times \dot{m}_{spw}}{\dot{m}_{KON} + \dot{m}_{spw}} = \frac{158 \times 6000 + 104 \times 6000}{6000 + 6000} = 131 \text{ °C}$$

и при этом:

$$\Delta k_{B(E3)} = \frac{(\dot{m}_{spw} + \dot{m}_{KON}) \times c_p \times (T_{spw/M} - T_{spw})}{H_i \times \eta_K} \times b \times k_E$$

$$\Delta k_{B(E3)} = \frac{(6000 + 6000) \times 0{,}001163 \times (131 - 104)}{10{,}35 \times 89/100} \times 6000 \times 0{,}414 = 101\,612 \text{ евро/год}$$

С учетом названных ранее значений годовая экономия затрат составит:
E = $\Delta k_{RW(E1)}$ + $\Delta k_{B(E2)}$ + $\Delta k_{B(E3)}$ = 13 860 + 18 422 + 101 612 = **133 894** евро.

Если учесть, что затраты на закрытую систему сбора конденсата на сегодняшний день составляют от 80 000 до 110 000 евро, а годовая экономия затрат – 130 000 евро, то время амортизации (A) составит от 0,62 до 0,84 года.

[a] См. табл. 8.

[b] Из технического паспорта на котел серии Vitomax 200-HS без экономайзера.

[c] Существенная часть дополнительных расходов по сравнению с открытыми системами на:
- бак сбора конденсата высокого давления,
- конденсатные насосы высокого давления,
- возросшие затраты на регулирование,
- Возросшие затраты на системы трубопроводов и арматуру составляют от 80000 до 110000 евро.

Примечание

Существенная часть дополнительных расходов по сравнению с открытыми системами на:

- бак для сбора конденсата высокого давления,
- конденсатные насосы высокого давления,
- возросшие затраты на регулирование,
- возросшие затраты на системы трубопроводов и арматуру

от 80000 до 110000 евро.

Рис. D.5.3–1: Схема «открытой» и «закрытой» систем сбора конденсата

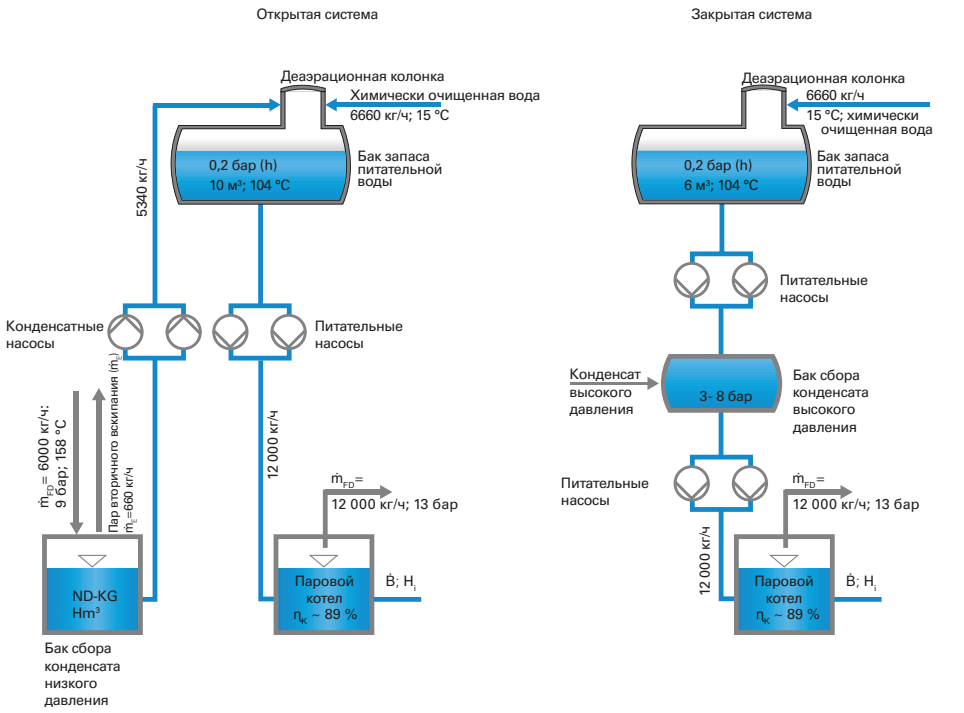


Рис. D.5.3–2: Термическая деаэрационная установка





Насосы

Подбор питательных насосов с учетом представленных в разделе C.7 вариантов регулирования.

С одной стороны, необходимо соблюдать требования норм и стандартов, с другой стороны, важно учитывать особенности каждой конкретной установки. По этой причине рассматривается несколько вариантов.

D.6.1. Питательные насосы – критерии подбора и эксплуатация

Питательные насосы обеспечивают паровую котельную установку питательной водой согласно требуемой паропроизводительности. Различают постоянное и непостоянное регулирование. При этом величиной регулирвоания является уровень заполнения парового котла питательной водой. Обычно для этого применяются центробежные насосы с учетом специальных значений NPSH[a] (NPSH – допускаемый кавитационный запас насоса) (см. диаграмму D.6.1-1).

NPSH при нормальном атмосферном давлении

При нормальном атмосферном давлении 1013 мбар требуемый напор на входе в насос или максимально возможный напор всасывания могут быть определены с помощью приведенной диаграммы.

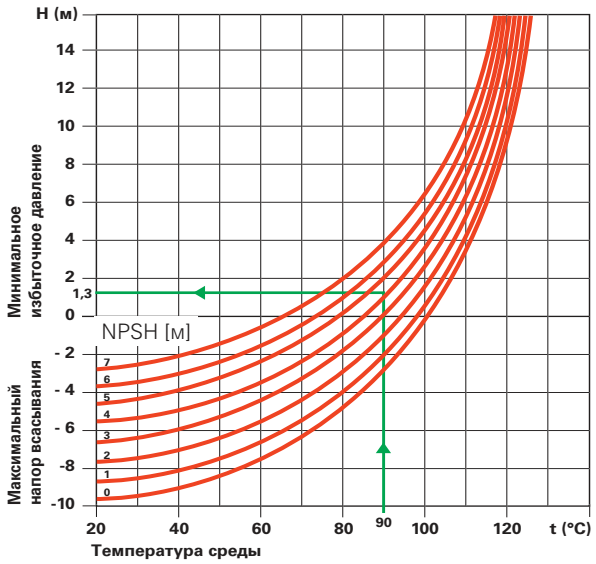
Пример

NPSH насоса = 4,0 м вод. ст.
(данные от производителя)
при температуре среды = 90 °C

У всасывающего патрубка насоса должно обеспечиваться минимальное давление 1,3 м вод. ст. Здесь предварительно учтен запас в 0,5 м вод. ст.

Благодаря указанному запасу (0,5 м вод. ст.) в большинстве своем должны компенсироваться возникающие потери давления во всасывающем трубопроводе насоса. При этом следует исходить из того, что всасывающий трубопровод насоса должен быть выполнен максимально коротким, т. е. 10 м и менее при скоростях потока во всасывающем трубопроводе 0,5 м/с и менее. В нестандартных случаях для всасывающего трубопровода необходим специальный расчет потерь давления (см. D.8.3.3).

Рис. D.6.1–1: Технические характеристики питательного насоса (источник: Grundfos)



Примечание

Расчет требуемого минимального давления (подпора) (p_{MIN}) с учетом патрубка всасывания насоса при атмосферном давлении осуществляется по формуле:

$$p_{MIN} = p_{D/E} + \frac{(NPSH_{Pumpe} + 0{,}5) \times \varrho_{spw}}{104} \text{ [бар]}$$

где:

$p_{D/E}$ – давление пара в баке запаса питательной вода (бар),

$NPSH_{Pumpe}$ – начение NPSH при температуре среды 20 °C (информация от поставщика насоса) (м вод. ст.),

ϱ_{spw} – плотность питательной воды при рабочей температуре (см. приложение табл. 2.2) (кг/м³).

Ориентировочные значения представлены в таблице (см. ссылку на литературный источник L2):

Рис. D.6.1–2: Таблица

Температура питательной воды [°C]	90	100	110
Требуемый подпор [м вод. ст.]:	2	4	6

a) Net Positive Suction Head (см. диаграмму) – подпор и/или давление во всасывающем патрубке насоса в зависимости от температуры среды.

Примечание

Значение NPSHVorh – это существующая разность между общим давлением в середине входного патрубка насоса и давлением кипения p_D (называется также давлением насыщения), измеряется как разность напоров в метрах. Является в некоторой степени мерой риска кипения в данной точке и определяется только с учетом данных установки и транспортируемой жидкости.

Согласно DIN EN 12953-6 5.5 при максимальном рабочем давлении (безопасное давление) обеспечение достаточным количеством питательной воды является обязательным. Согласно TRD 401 3 должны соблюдаться приведенные ниже критерии (или/или). В приведенном ниже примере учтены оба критерия.

Напор питательного насоса ≈ 1,1 x p_B[a)] [бар]

- Возникающие в системе трубопроводов, элементах трубопроводов и экономайзере (если применяется) потери давления могут дополнительно компенсироваться выбранным десятипроцентным запасом к напору, по этой причине на практике этими потерями пренебрегают. Условием для этого является ограничение скорости потока в системе трубопроводов и элементах трубопроводов ≤ 2,5 м/с. В нестандартных случаях для напорного трубопровода необходим дополнительный расчет возникающих потерь давления и дополнительный их учет в требуемой величине напора (см. D.8.3).

Производительность насоса ≈ 1,25 x $\dot{m}_{FD}$ [т/ч]

- Возникающие потери воды (потери при периодической и постоянной продувках (A) ≤ 5%) компенсируются выбранной двадцатипятипроцентной величиной запаса к производительности насоса. Если ожидаются потери более 5% (с учетом производительности парового котла), необходимо к запасу в 25% предусмотреть дополнительный коэффициент запаса ΔA%.

С помощью полученных значений напора и производительности насоса определяется мощность двигателя насоса (N):

$$N_K \approx \frac{1{,}25 \times \dot{m}_{FD} \times 1{,}1 \times p_B}{0{,}36 \times 10^5 \times \eta_P} \text{ [кВт]}$$

На основании мощности на валу насоса (N_K), а также коэффициента запаса по мощности (Z_{EL}), применяемого на практике в качестве компенсации мощности при возможных колебаниях режима работы насоса, которые при определенных обстоятельствах могут привести к увеличению мощности на валу насоса (N_K).

Рис. D.6.1–2: Мощность двигателя насоса и коэффициент запаса

N_K (кВт)	до 7,5	от 7,5 до 40	от 40
Z_{EL} (%)	20	15	10

Мощность двигателя насоса (N):

$$N \approx N_K \times \left(1 + \frac{Z_{EL}}{100}\right) \text{ [кВт]}$$

Комментарий для расчета (N_K):

$$N_K = \frac{\varrho \times g \times H \times \dot{V}}{\eta p} \text{ [Вт]}$$

где:

ϱ – плотность теплоносителя в кг/м³,
g – ускорение свободного падения в м/с²,
H – величина напора насоса в м вод. ст.,
$\dot{V}$ – производительность насоса в м³/с,
η_P – КПД насоса (больше 0, но менее 1).

С учетом перерасчета из Вт в кВт, м вод. ст. в бар и м³/ч в м³/с или кг/ч на основании соотношения:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{FD}}{\varrho}$$

можно учитывать требуемый фактор (безразмерный) в знаменателе уравнения: 0,36 x 10^5.

[a)] Допустимое рабочее давление парового котла ≙, безопасное давление ≙, давление срабатывания предохранительного клапана.

Пример подбора насоса

- Паропроизводительность котла ($\dot{m}_{FD}$) = 12 000 кг/ч
- Максимальное допустимое избыточное давление парового котла (p_{zul}) = 16 бар (давление срабатывания предохранительного клапана),
- Рабочая температура в баке запаса питательной воды ($T_{B/E}$) = 105 °C
- Давление пара в баке запаса питательной воды ($p_{D/E}$)
  $p_{D/E}$ = f($T_{B/E}$ из приложения табл. 2) = 0,21 бар
- Плотность питательной воды (ϱ_{SPW})
  ϱ_{SPW} = f($T_{B/E}$ из приложения табл. 2.2) = 954,5 кг/м³

Вариант расчета для 100%

Требуемая величина подачи ($\dot{V}_P$) с учетом рабочей температуры:

$$\dot{V}_P = \frac{1{,}25 \times \dot{m}_{FD}}{\varrho_{SPW}} = \frac{1{,}25 \times 12\,000}{954{,}5} = 15{,}72 \text{ м}^3/\text{ч}$$

- Требуемый напор (давление p_D) = 1,1 x 16 = 17,6 бар
- Требуемая мощность двигателя насоса (N) при средней эффективности насоса (данные от производителя насоса) $\eta_p \approx 75\%$ рассчитывается по формуле:

$$N_K = \frac{1{,}25 \times 12\,000 \times 1{,}1 \times 16}{0{,}36 \times 10^5 \times 0{,}75} = 9{,}77 \text{ кВт}$$

при коэффициенте запаса мощности Z_{EL}~15%

$$N = 9{,}77 \times \left(1 + \frac{15}{100}\right) \geq 11{,}24 \text{ кВт}$$

- Для значений NPSH больше 0, но меньше 7 м вод. ст. для соответствующей граничной области определяется требуемое минимальное давление подачи (P_{MIN}):

$$p_{MIN(NPSH=0)} = 0{,}21 + \frac{0{,}5 \times 954{,}5}{10^4} \approx 0{,}258 \text{ бар}$$

$$p_{MIN(NPSH=7)} = 0{,}21 + \frac{(7 + 0{,}5) \times 954{,}5}{10^4} \approx 0{,}926 \text{ бар}$$

Геодезическая высота подачи (H_{geo}) рассчитывается по формуле:

$H_{geo(NPSH=0)}$ ~ ($p_{MIN(NPSH=0)}$ - $p_{D/E}$) x 10,2 м вод. ст./$_{бар}$

$H_{geo(NPSH=0)}$ ~ (0,258 - 0,21) x 10,2 ≈ 0,49 м вод. ст.

$H_{geo(NPSH=7)}$ ~ (0,926 - 0,21) x 10,2 ≈ 7,30 м вод. ст.

Комментарии

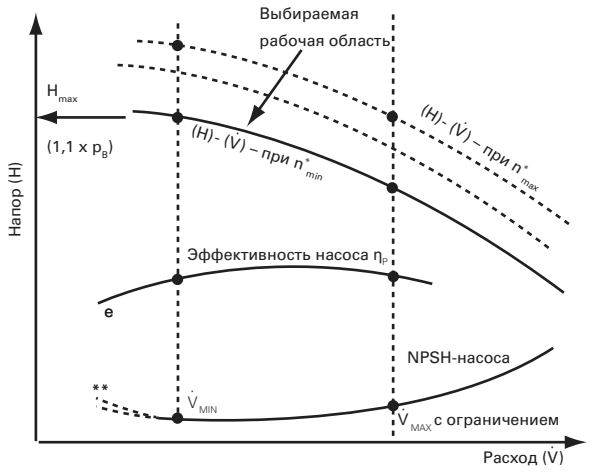
Комментарий 1

- При часто встречающихся на практике высотах подачи от 2,0 до 4,0 м вод. ст. рекомендуются насосы с $NPSH_{Pumpe}$ до 4,0 м вод. ст.
- При выборе насоса с учетом области применения (между минимальной и максимальной производительностью насоса) следует учитывать «пологую» характеристику линии NPSH-значения, в зависимости от производительности насоса (см. D.6.1-3).

Комментарий 2

- Эффективность насоса должна по возможности достигать оптимальных значений. Здесь также рекомендуется электроограничитель двигателя насоса для производительности насоса больше допустимых значений.

Рис. D.6.1–3: Рабочая кривая насоса (принципиальное изображение)



*Принимается:
регулирование частоты вращения двигателя насоса между n^*_{MAX}/ n^*_{MIN}

с ограничением $\frac{1{,}25 \times \dot{m}_{FB}}{\rho}$

**На практике сложно измеряемо, но NPSH не остается постоянно минимальным!

Регулирование уровня котловой воды

В дополнение к С.7.1 ниже представлена информация для «практиков», т. е. наиболее часто встречающиеся варианты для однокотельных установок.
Рассмотрим наиболее распространенные режимы работы в зависимости от диапазона регулирования:

- парового котла (профиль нагрузки);
- системы горения (горелки);
- насоса (характеристики, минимальный расход) для вариантов 2, 3 и 4.

1. Непостоянное регулирование уровня котловой воды для парового котла без экономайзера с максимальной паропроизводительностью до 3 т/ч

Для парового котла без экономайзера паропроизводительностью до 3 т/ч может рассматриваться как самое простое решение. При паропроизводительности более чем 3 т/ч или при применении экономайзера этот вариант не рекомендуется.

Обоснование

При определяемом регулировании отключения насоса питательной воды (насос отключается при потребности котла в воде ниже потока подачи насоса, минимальной нагрузке горелки ниже минимального протока через насос) экономайзер со стороны воды не имел бы протока.
Следствие: отсутствие увеличения КПД через экономайзер и/или перегрев.

Регулирование

Уровень воды регулируется двумя положениями насоса «насос включен» и «насос выключен» с помощью электрода уровня. В экономайзере может возникнуть гидравлический удар.

2. Постоянное регулирование уровня котловой воды при помощи регулирующего клапана питательной воды. Для парового котла с экономайзером любой паропроизводительности

Может рассматриваться для парового котла с и без экономайзера в качестве самого простого решения. При этом в зависимости от уровня заполнения котла ведется управление через регулирующий клапан питательной воды. При превышении установленного производителем насоса минимального объема потока насос питательной воды выключается.
Этот вариант не рекомендуется, если может регулироваться производительность горелки меньше минимального объема питательной воды и применяется экономайзер. В этом случае экономайзер со стороны воды также не имел бы протока.

Регулирование

Целью регулирования является постоянное поддержание уровня в котле на определенной заданной величине. Действительная величина постоянно обрабатывается через зонд уровня и сравнивается в регуляторе с заданной величиной. При колебаниях нагрузки при помощи открытия или закрытия регулирующего клапана питательной воды происходит регулирование до заданного уровня.
При достижении минимального объема протока, насос останавливается и регулирующий клапан питательной воды закрывается.
Данный вариант не рекомендуется, если диапазон регулирования горелки больше диапазона регулирования насоса питательной воды.

3. Постоянное регулирование уровня котловой воды при помощи регулирующего клапана питательной воды / байпасной линии. Для парового котла с экономайзеромлюбой паропроизводительности

Реглуирование в зависимости от уровня заполнения парового котла ведется через клапан питательной воды. При превышении минимального объема протока к котлу путем повышения давления открывается байпасный клапан и в целях защиты насоса разрешает проток минимального объема в бак запаса питательной воды.

Регулирование

Целью регулирования является постоянное поддержание уровня в паровом котле на неизменно определенной заданной величине. Действительная величина постоянно обобщается через зонд уровня и сравнивается в регуляторе с заданной величиной.
При изменении уровня при помощи открытия или закрытия регулирующего клапана питательной воды происходит регулирование до заданного значения. Через дросселируемый трубопровод (байпасная линия) часть питательной воды отводится обратно в бак запаса питательной воды.

Этот клапан может выполняться с дроссельным конусом или как регулирующий клапан. Так называемый байпасный трубопровод служит для защиты насоса от снижения производительности (величины подачи насоса ниже установленного минимального уровня). Благодаря этому очестпечивается проток через экономайзер, если диапазон регулировани горелки больше диапазона регулирования насоса.

Внимание!

Представленный здесь вариант представляет собой лишь одну возможность регулирования. Однако предпочтительным вариантом является описанный в пункте 4 вариант с регулирующим клапаном питательной воды с перепускной линией. Регулирующие клапана подбираются для каждого конкретного случая применения. В случае необходимости следует произвести согласование с отделом продаж промышленного оборудования. В случае размещения заказа эти клапаны следует подбирать согласно условиям проекта.

4. Постоянное регулирование уровня котловой воды при помощи регулирующего клапана питательной воды с перепускной линией. Для парового котла с экономайзером любой паропроизводительности

Может рассматриваться как наиболее предпочтительный вариант для парового котла с и без экономайзера. При этом в зависимости от уровня заполненяи котла ведется регулирование через регулирующий клапан питательной воды с перепускной линией. При превышении минимального объема протока открывается вентиль перепускной линии и перепускает, в целях защиты насоса, необходимый объем питательной воды обратно в бак запаса питательной воды. Дополнительный дроссельный клапан в байпасном трубопроводе не нужен.

Регулирование

Регулирующий клапан питательной воды постоянно управляет объемом питательной воды в зависимости от уровня заполнения котла. Как только основной поток подачи превышает определенный объем подачи питательной воды (например 30%), открывается вентиль перепускной линии (байпас) в такой мере, чтобы постоянно мог отводиться необходимый минимальный объем воды (например 30%). Регулирующие клапаны питательной воды с перепусной линией должны выполняться в зависимости от паропроизводительности и максимального допустимого избыточного давления парового котла.

5. Постоянное регулирование уровня котловой воды при помощи насоса с частотным регулированием. Для парового котла с /без экономайзера любой паропроизводительности.

Регулируемые по частиоте вращения насосы питательной воды могут применяться для парового котла с и без экономайзера. Для управления основнойй предпосылкой является управление через шкаф SPS. При помощи изменения числа оборотов меняется расход питательной воды. Таким образом можно вплоть до малой нагрузки, которая соответствует необходимому для насоса минимальному объему протока, регулировать объем питательной воды.

Регулирование

Целью регулирования является поддержание заданного значения уровня котловой воды. Существующий уровень непрерывно фиксируется датчиком уровня (сигнал 4-20 мА, например, NRGT 26-1 Gestra) и сравнивается с заданным в регуляторе значением. При отклонениях уровня регулирование осуществляется посредством бесступенчатого регулирования (в данном случае с применением преобразователя частоты). Снижение частоты вращения ограничивается двумя параметрами:
1 – расходом насоса,
2 – требуемым давлением.
При помощи регулирования частоты вращения вентилятора возможно сэкономить электроэнергию. Дополнительно уменьшается количество регулирующей арматуры перед паровым котлом.

6. Постоянное регулирование уровня котловой воды при помощи регулирования числа обротов насоса и байпасной линии. Для парового котла с / без экономайзера любой паропроизводительности

Действительны положения, изложенные в пункте 5.
Кроме того, в зависимости от проекта может быть необходимым применение байпасного трубопровода. Это справедливо для случаев, когда в зависимости от оборудования диапазон регулирования насоса должен быть изменен до такой степени, чтобы малая нагрузка горелки была ниже малой нагрузки насоса.

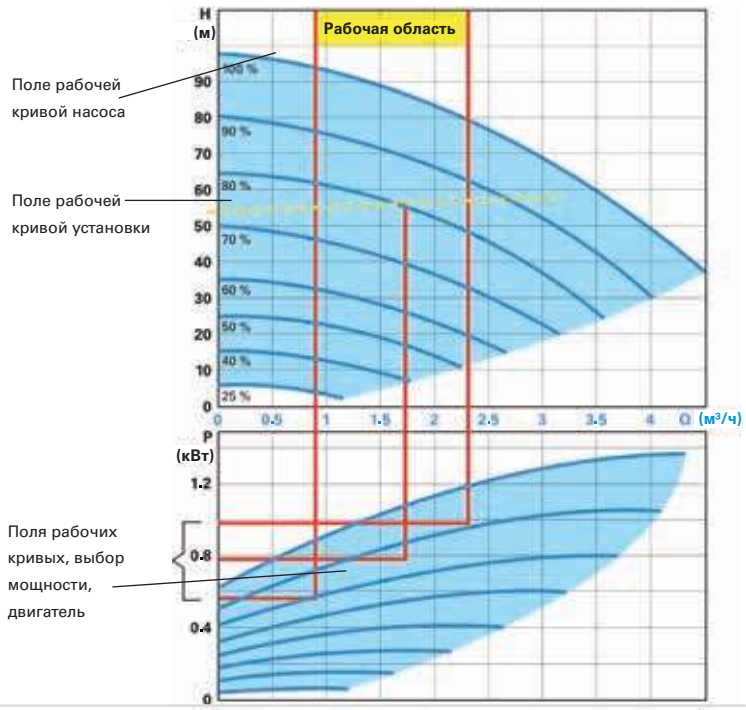
Примечание

Применение насоса с регулированием частоты вращения электродвигателя не рекомендуется в случаях, когда диапазон регулирования горелки больше диапазона регулирования насоса или диапазон регулирования насоса меньше 1:4.

Примечание

С учетом рабочей кривой характеристики насоса и снижения нагрузки не всегда можно отказаться от байпаса. Значение минимального расхода через насос может составлять 1/3 номинального. Байпас – это всегда потери энергии. В зависимости от профиля нагрузки (как долго насос работает в байпасном режиме) регулирование частоты вращения может быть целесообразным.

Рис. D.6.1-4: Насос производства Grundfos (пример 1)



Насколько выгодно применение насоса с преобразователем частоты показано на рис. D.6.1-4.

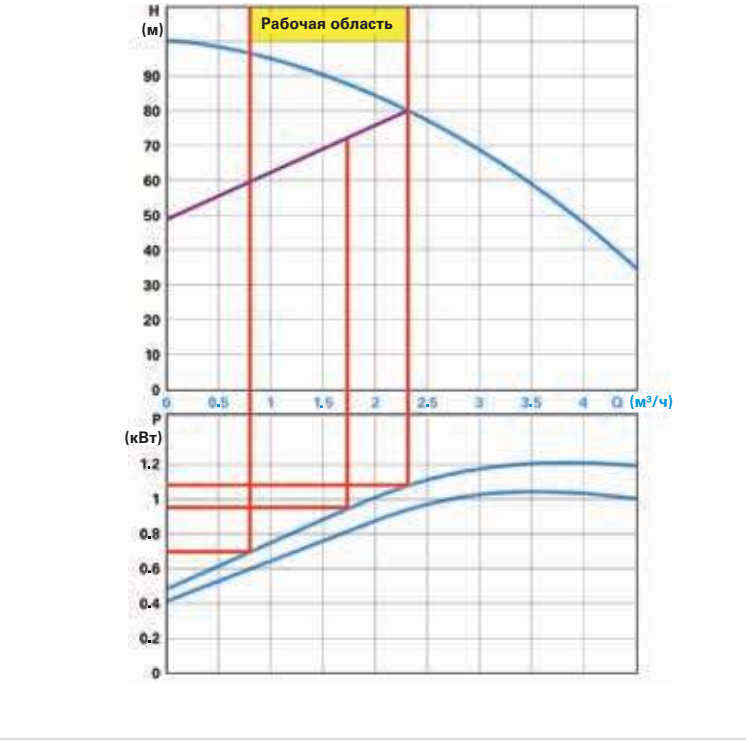
Характеристики насоса:

номинальная частота	– 360 – 2789 оборотов/мин
номинальный расход	– 3 м³/ч
минимальный расход	– 0,9 м³/ч
номинальный напор	– 66,6 м
максимальный напор	– 97 м

Исходные данные:

паропроизводительность котла	– 2,3 т/ч
максимальное допустимое избыточное давление	– 6 бар
рабочее давление	– 4,5 бар
мощность двигателя в рабочем диапазоне	– 0,5 – 0,95 кВт

Рис. D.6.1-5: Диаграмма для насоса без преобразователя частоты



На рисунке D.6.1-5 изображена диаграмма насоса без преобразователя частоты.

Для насоса при такой нагрузке потребление электроэнергии составит 1,14 кВт. Если принять, что котел работает 8000 ч/год и половину этого времени при семидесятипроцентной нагрузке, возможна следующая экономия электроэнергии:

- потребность в электроэнергии при стопроцентной нагрузке (с преобразователем частоты): 0,95 кВт;
- собственная потребность в электроэнергии преобразователя частоты: 0,05 кВт (ок.5%);
- потребность в электроэнергии условно при 100%: 1,14 кВт;
- разность более 4000 ч: 560 кВт;
- потребность в электроэнергии при семидесятипроцентной нагрузке (с преобразователем частоты): 0,78 кВт;
- собственная потребность в электроэнергии преобразователя частоты: 0,02 кВт (ок. 5%);
- потребность в электроэнергии условно при 70%: 0,95 кВт;
- разность более 4000 ч: 600 кВт.

При стоимости электроэнергии 0,06 евро/кВтч экономия составит 70 евро/год. При такой мощности инвестиционные затраты варианта 4 и варианта 5 практически равны.
Другие преимущества насосов с преобразователем частоты:
Продолжительный срок службы благодаря уменьшению нагрузки.

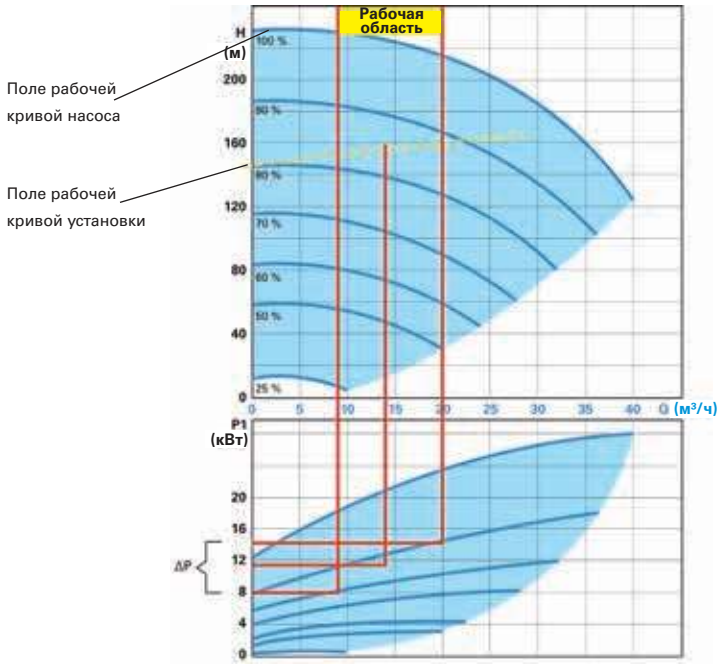
Характеристики насоса:

номинальная частота	– 2947 – оборотов/минуту
номинальный расход	– 30 м³/ч
минимальный расход	– 9 м³/ч
номинальный напор	– 180 м
максимальный напор	– 230 м

Исходные данные:

производительность котла	– 20 т/ч
максимальное допустимое избыточное давление	– 16 бар
рабочее давление	– 13,5 бар
в рабочем диапазоне	– 7,5 – 14 кВт (электрическая мощность двигателя насоса)

Рис. D.6.1-6: Насос Grundfos (пример 2)

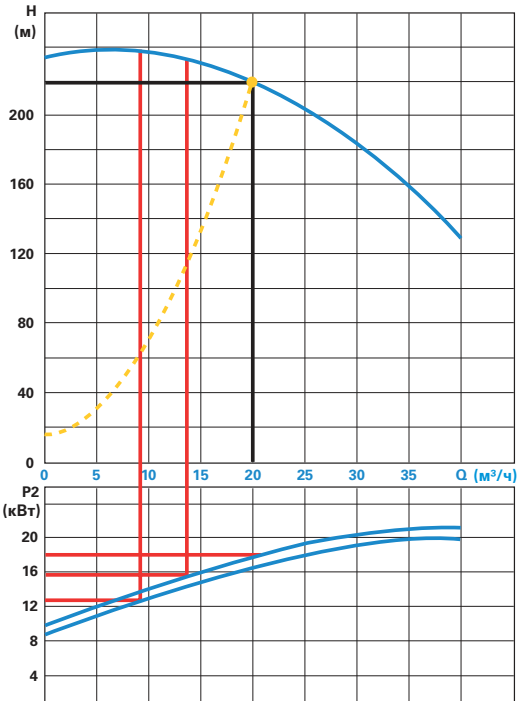


На рисунке D.6.1-7 изображена диаграмма насоса без преобразователя частоты.

Для насоса при такой нагрузке потребление электроэнергии составит 16,7 кВт. Если принять, что котел работает 8000 ч/год и половину этого времени при семидесятипроцентной нагрузке, возможна следующая экономия электроэнергии:

- потребность в электроэнергии при стопроцентной нагрузке (с преобразователем частоты): 14 кВт;
- собственная потребность в электроэнергии преобразователя частоты: 0,7 кВт (ок. 5%);
- потребность в электроэнергии условно при 100%: 18 кВт;
- разница свыше 4000 ч: 13200 кВт;
- потребность в электроэнергии при семидесятипроцентной нагрузке (с преобразователем частоты): 11,5 кВт;
- собственная потребность в электроэнергии преобразователя частоты: 0,6 кВт (ок. 5%);
- потребность в электроэнергии условно при 70%: 16 кВт;
- разность свыше 4000 ч: 15600 кВт.

Рис. D.6.1-7: Диаграмма для насоса без преобразователя частоты



При стоимости электроэнергии 0,06 евро/кВтч экономия составит 1728 евро/год. Дополнительные инвестиционные затраты по сравнению с вариантом 4 составят ок. 3000 евро при времени амортизации 1,74 года.

Примечание

Необходимо учитывать, что насосы с преобразователем частоты имеют более высокую общую потребляемую мощность, из-за чего экономия ставится под сомнение.

Регулирование частоты вращения двигателя насоса рекомендуется при частых или существенных колебаниях потребности в паре, а также если в течение продолжительного времени возникает только частичная потребность в паре (до достижения установленной минимальной величины подачи насоса).
Преобразователь частоты «подгоняет» частоту (а с этим и мощность) насоса под необходимое количество пара.

Основные отношения:

Отношение расхода к частоте

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{n_2}{n_1}$$

Отношение давления к частоте

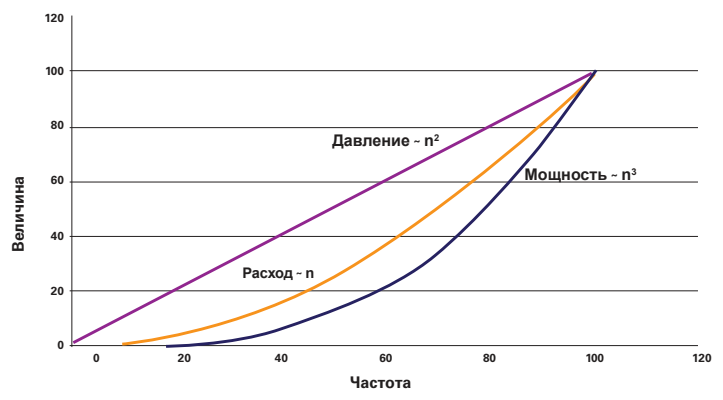
$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

Отношение мощности двигателя к частоте

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Индекс 1 = известная точка.
Индекс 2 = искомая, новая точка при новой частоте n_2.

Рис. D.6.1-8: Постоянный контроль с помощью преобразователя частоты



Это означает, что, например, при изменении частоты (n) от 100% до 50% (что также соответствует изменению подачи насоса (V) от 100% до 50%) потребляемая мощность насоса (P) падает до 1/8. Это значение теоретическое, т. к. преобразователь частоты сам потребляет энергию.
Потребность преобразователя частоты может быть ориентировочно принята в размере 5% от общей мощности.

Амортизация зависит от реальной нагрузки установки в течение определенного промежутка времени и местных цен на электроэнергию.
Если нагрузка установки изменяется редко или незначительно, то с точки зрения инвестиционных затрат и стоимости электроэнергии имеет смысл применить регулирующий клапан питательной воды с перепускной линией (см. вариант 4). Который работает как дроссель. При использовании насоса без частотного регулирования дросселирование приводит к повышенному гидравлическому сопротивлению, так что насос способен прокачать только незначительный объемный поток. В данном случае происходит падение потребляемой мощности двигателя насоса, но в достаточно незначительном объеме.

Эта взаимосвязь просматривается в рабочих кривых «величина напора» / «объемный расход» и «потребляемая мощность» / «объемный расход» любого насоса. Возможная экономия, кроме всего прочего, зависит также от исполнения насоса.

В качестве альтернативы к описанным вариантам 4, 5 и 6 «применение байпаса» нельзя не упомянуть возможность применения так называемого «обратного клапана свободного хода».

«Обратные клапаны свободного хода» представляют собой управляемые собственной средой предохранительные клапаны, которые защищают центробежные насосы от повреждений, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации насоса при низких нагрузках из-за частичного испарения с кавитацией.

Как только подача насоса опускается ниже установленного минимального значения, открывается так называемый «байпас» клапана, что гарантирует насосу стабильный требуемый минимальный расход.

Обратный клапан свободного хода устанавливается в напорном трубопроводе питательной воды, по возможности непосредственно на напорном патрубке защищаемого насоса. Расстояние между напорным патрубком насоса и входом в клапан во избежание пульсации потока не должно превышать 1,5 м.

Для защиты клапана при продолжительных минимальных расходах возможно (опционально) дополнительно использовать так называемый «байпас», который на практике не рассматривается как обязательный.
Номинальный диаметр условного прохода и номинальное давление обратного клапана свободного хода необходимо выбирать по напорному патрубку насоса, в продаже имеются от PN10 до PN40 в зависимости от ступени давления.
Основной расход и минимальный расход клапана указаны в зависимости от номинального диаметра условного прохода (см. рис. D.6.1-9).

Примечание для многокотельной установки

Для работы каскадной установки возможны многочисленные варианты регулирования в зависимости от конкретной ситуации.
Так, например:

- аналогично предыдущему варианту только каждый паровой котел оснащается отдельным питательным насосом с регулируемой частотой вращения двигателя (с учетом вариантов 5/6);
- три питательных насоса (из них один резервный) на два паровых котла с четким соотношением «насос – котел» с отдельным регулирующим вентилем питательной воды на каждый паровой котел и общим байпасом аналогично варианту 3/4. Этот вариант может способствовать экономии средств благодаря отказу от насосов, но ограничивает возможность использования установки;
- два питательных насоса на каждый паровой котел, аналогично установке с одним котлом.

Рис. D.6.1-9: Пропускная способность вентиля и минимальный расход

Условный проход Номинальный диаметр (мм)	25	32	40	50	65	80	100	125	150
Пропускная способность [a] м³/ч	17	28	45	68	114	178	270	400	530
Минимальный расход [b] стандарт м³/ч	6	10	18	18	40	40	65	65	116
Свободный ход Номинальный диаметр [b] мм	25	25	25	25	40	40	50	50	65

[a] С учетом максимально допустимой скорости потока в напорном трубопроводе можно применить скорректированный расход.

[b] В зависимости от выбора насоса.

Примечание
Технические паспорта – комплектующие для паровых котлов высокого давления

Для производительности паровых котлов в пределах от 0,40 т/ч до 26,0 т/ч в зависимости от рабочего давления (в пределах от 6,0 до 25 бар) и в зависимости от выбранного производителя насоса (Grundfos, Wilo и/или KSB), с постоянной частотой вращения двигателя насоса и/или с преобразователем частоты, компания VIESSMANN предлагает соответствующие модели насосов.

Коммерческое предложение можно получить, отправив запрос по адресу: info@viessmann.com.

D.6.2. Конденсатные насосы – критерии подбора и эксплуатация

Здесь учитываются указанные в D.5.1 и D.5.2 варианты исполнения (открытые / закрытые системы сбора конденсата), но с дополнительной ссылкой на необходимость плавной (модулируемой) подачи питательной воды в бак запаса питательной воды и/или в паровой котел посредством управляемого байпаса через регулируемый клапан (см. рис. D.6.2-1).

Конденсатные насосы с $\dot{m}_{KON} \geq 1{,}25\ \dot{m}_{FD}$ для открытых и закрытых систем сбора конденсата:

- $p_{S\text{"offen"}} = 1{,}0\ бар_{abs} < p_{G/Spwbehälter} \approx 1{,}5\ бар_{abs}$
- $p_{S\text{"geschlossen"}} = 3{,}0 – 6{,}0\ бар_{abs} < p_{G/Dampferzeuger} \approx 7{,}0 – 26{,}0\ бар_{abs}$

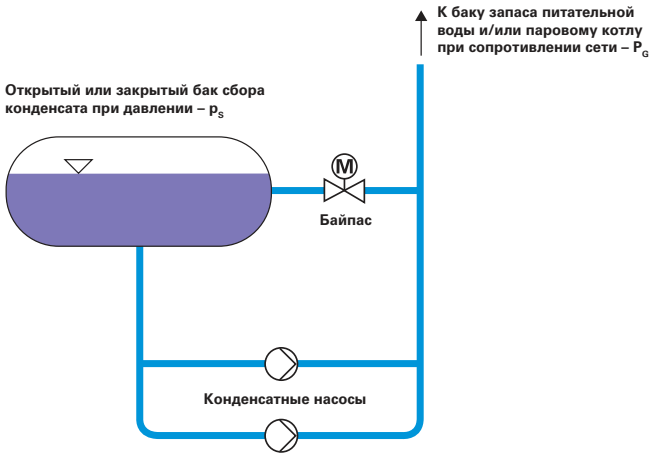
Насосы с регулированием частоты вращения аналогично описанному в D.6.1 исполнению (варианты 5/6) возможны только для закрытых систем.

Из-за относительно небольших мощностей электроприводов конденсатных насосов для открытых систем сбора конденсата (см. пример расчета N в D.6.2, при максимально ожидаемом количестве пара m_{FD} = 75 т/ч) использование насосов с регулируемой частотой не рекомендуется.

Пример расчета:

$$N_K \approx \frac{1{,}25 \times \dot{m}_{FD} \times 1{,}1 \times p_B}{0{,}36 \times 10^5 \times \eta_P}\ [кВт]$$

Рис. D.6.2-1: Применение байпаса





Расчет тепловых агрегатов

Данный раздел посвящен более подробному рассмотрению функций и принципов расчета упомянутых ранее тепловых агрегатов, а именно:

C.5.4. Охладителя проб
C.8.1. Охладителя стоков
C.8.2. Сепаратора непрерывной продувки
C.8.3. Охладителя выпара
C.8.4. Охладителя питательной воды

Выбор устройств осуществляется с учетом серийного оборудования компании VIESSMANN со ссылкой на специальные данные для производительности парового котла более 14 т/ч, но менее 75 т/ч (см.табл. D.7.1.1-2, D.7.2.1-2, D.7.2.1-3, D.7.2.1-4).

Коммерческое предложение можно получить, отправив запрос по адресу: info@viessmann.com.

D.7.1. Охладитель стоков

D.7.1.1. Описание функций, расчет

Охладитель стоков не требует для своей установки особого фундамента; достаточно, если основание будет плоским и несущим.

Емкость охладителя стоков имеет патрубки для подключения:

- периодической продувки парового котла;
- непрерывной продувки парового котла;
- регулирования подачи сетевой воды с применением термостата;
- подключения охлажденных стоков;
- выпара;
- дренажа;
- ревизионного отверстия.

Охладитель стоков служит для понижения давления до атмосферного всех удаляемых от парового котла стоков, таких как шлам, а так же конденсата после сепаратора непрерывной продувки.
Второй функцией охладителя стоков является понижение температуры горячих стоков до температуры канализационной системы.

Удаление воздуха из охладителя стоков в атмосферу обеспечивает беспрепятственную подачу стоков. Сбор стоков может быть дополнительно усовершенствован путем размещения установки ниже уровня парового котла. В зависимости от степени жесткости необработанной воды рекомендуется разбавлять необработанную воду умягченной водой для минимизации выпадения осадка в охладителе стоков.

Рис. D.7.1.1-1: Охладитель стоков



Исходные данные

Непрерывная продувка	A = 5%
Массовый расход непрерывной продувки	$\dot{m}_A = \dot{m}_{FD} \times {}^{A}/_{100}$ (кг/ч)
Периодическая продувка	a = 7,5 кг/с
Длительность периодической продувки	$T_a = 4\ {}^{s}/_{8h}$
Массовый расход периодической продувки	$\dot{m}_a = a \times T_a$=7,5 кг/с x 4 с/8ч = 3,75 кг/ч
Температура охлаждающей воды	T_{KW} = 15 °C
Температура стоков	T_{AW} = 30 °C
Массовый расход стоков	$\dot{m}_{AW} = \dot{m}_A + \dot{m}_a + \dot{m}_{KW}$ (кг/ч)
Температура котловой воды / периодическая продувка	T_a (°C), $T_a \approx T_s\ f(p_B)$ (где T_s – температура насыщенного пара как функция рабочего избыточного давления (p_B) из табл. 2).
Температура котловой воды / периодическая продувка (на входе в охладитель) температура воды / непрерывная продувка	$T_{a/K} \approx \dot{m}(p_{E/K}$ = 0 бар) ≈ 100 °C T_A (°C); $T_A = f(p_{E/D})$ (как функция избыточного давления пара в деаэраторе $p_{E/D}$ из табл. 2 приложения).

Допущение: T_A = 105 °C для $p_{E/D}$ ≈ 0,21 бар.

Поступающая в охладитель стоков продувочная масса ($\dot{m}_{a/K}$) уменьшает уменьшает отбор пара к потребителю (Пар вторичного вскипания $\dot{m}_{a/DE}$):

$$\dot{m}_{a/K} = \dot{m}_a - \dot{m}_{a/DE}$$

где:

$$\dot{m}_{a/DE} = \frac{f_{DE}}{100} \times \dot{m}_a$$

Таким образом, продувочная масса равна:

$$\dot{m}_{a/K} = \dot{m}_a \times \left(1 - \frac{f_{DE}}{100} \right)$$

где: f_{DE}, – процент образовавшегося в результате расширения пара вторичного вскипания из табл. 8 приложения в зависимости от разности между рабочим избыточным давлением (p_B) и атмосферным давлением ($p_{E/K}$ = 0).

Примечание

За смену (8 часов) происходит разовый кратковременный (4 сек.) «спонтанный» сброс продувочной массы в количестве 30 кг (7,5 кг/сек. x 4 сек.). Если принять рабочее избыточное давление (p_B) равным 13 бар, то продувочная масса уменьшится:

$$m_{a/K} = 30 \times \left(1 - \frac{17}{100} \right) \approx 25 \text{ кг}$$

Охлаждение периодически сбрасываемой массы происходит в охладителе стоков с помощью «холодного» тридцатиградусного водяного запаса ($m_{W/N}$), значение которого определяется согласно следующему уравнению:

$$m_{W/V} \geq \frac{m_{a/K} \times (T_{a/K} - T_{AW})}{(T_{AW} - T_{KW})} \geq \frac{25 \times (100 - 30)}{(30 - 15)} \geq 117 \text{ л}$$

Выводы

Для определения необходимого часового расхода охлаждающей воды и общей сбрасываемой продувочной массы необходимо предварительно определить базовые показатели.

С точки зрения минимизации потребности в охлаждающей воде и необходимого объема емкости для обеспечения достаточного количества водяного запаса рекомендуется периодическая продувка длительностью 2 секунды в два приема за 8 часов.

Следует принять к сведению изложенную в D.8.5 информацию для подбора номинального внутреннего диаметра патрубков для выпара, охлажденных стоков, охлаждающей воды.

Расчет

- Требуемое количество охлаждающей воды $\dot{m}_{KW}$ (кг/ч) (соотношение теплоты и расхода) для охладителя стоков рассчитывается по формуле:

$$\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{m}_A \times (h'_A - h'_{AW}) + \dot{m}_a (h'_{a/K} - h'_{AW})}{(h'_{AW} - h'_{KW})}$$

(расходом пара вторичного вскипания ($\dot{m}_{a/DE}$) пренебрегают)

Общее уравнение для определения энтальпии среды
$h_i = cp_i \times t_i$
где cp_i = const для сульфатной кислоты (щелочного раствора котла) и охлаждающей воды:

$$\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{m}_A \times (T_A - T_{AW}) + \dot{m}_a (T_{a/K} - T_{AW})}{(T_{AW} - T_{KW})}$$

$$\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{m}_{FB} \times 0{,}05 \times (105 - 30) + 3{,}75 \times (100 - 30)}{(30 - 15)} \quad [кг]$$

Массовый расход стоков $\dot{m}_{AW}$ (кг/ч) рассчитывается по формуле:

$$\dot{m}_{AW} = \dot{m}_A + \dot{m}_a + \dot{m}_{KW} = \dot{m}_{FB} \times 0{,}05 + 3{,}75 + \dot{m}_{KW}$$

Пример расчета объема емкости охладителя стоков

Исходные данные:

- производительность парового котла $\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч
- избыточное давление пара p_B = 13 бар
- температура насыщенного пара T_s = 195 °C

$$\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{m}_A \times (T_A - T_{AW}) + \dot{m}_a \times (T_{a/K} - T_{AW})}{(T_{AW} - T_{KW})} \quad [кг/ч]$$

$$\dot{m}_{KW} = \frac{12\,000 \times 0{,}05\,(105 - 30) + 3{,}75 \times (100 - 30)}{(30 - 15)} \quad [кг/ч]$$

$\dot{m}_{KW}$ = 3 017,50 кг/ч и общее количество сточных вод

$\dot{m}_A$ = 3 017,50 + 12 000 x 0,05 +3,75 [кг/ч]

$\dot{m}_A$ = 3 621,25 кг/ч

Согласно таблице объем емкости охладителя стоков ≈ 600 л.

Рис. D.7.1.1-2: Объем емкости охладителя стоков (серийное оборудование)

Тип установки	1	2	3	4	5	6
$p_з$ \ $\dot{m}_{FD}$ (т/ч)	≤ 4,0	> 4 – ≤ 7,0	> 7 – ≤ 1	> 14 – ≤ 20	> 20 – ≤ 40	> 40 – ≤ 75
6,0	125/ 400 x1450	125/ 400 x1450	125/ 400 x1450	125/ 400 x1450	325/ 600x1580	600/ 800x1690
8,0	325/ 600x1580	325/ 600x1580	325/ 600x1580	600/ 800x1690	1000/ 1000x1810	1500/ 1200x2100
10,0	325/ 600x1580	325/ 600x1580	325/ 600x1580	600/ 800x1690	1000/ 1000x1810	1500/ 1200x2100
13,0	600/ 800x1690	600/ 800x1690	600/ 800x1690	600/ 800x1690	2000/ 1500x2100	1500/ 1200x2100
16,0	600/ 800x1690	600/ 800x1690	600/ 800x1690	600/ 800x1690	2000/ 1500x2100	1500/ 1200x2100
18,0	600/ 800x1690	800/ 900x1750	800/ 900x1750	1000/ 1000x1810	2000/ 1500x2100	2000/ 1500x2100
20,0	600/ 800x1690	800/ 900x1750	800/ 900x1750	1000/ 1000x1810	2000/ 1500x2100	2000/ 1500x2100
22,0	1000/ 1000x1810	1000/ 1000x1810	1000/ 1000x1810	1400/ 1150x1870	2400/ 1500x2200	2600/ 1600x2100
25,0	1000/ 1000x1810	1000/ 1000x1810	1400/ 1400x1870	1400/ 1150x1870	2400/ 1500x2200	2600/ 1600x2100

- $\dot{m}_{FD}$ – производительность парового котла
- p_B – избыточное давление пара
- Данные указаны в следующем порядке: xxx/yyy x zzz
  xxx = объем (л)
  yyy = диаметр емкости (мм)
  zzz = монтажная высота (мм)

Примечание

Для многокотловой установки подбор осуществляется аналогично однокотловой установке, но с параллельным подводом стоков к охладителю.

D.7.1.2. Охладитель непрерывной продувки – описание функций, расчет

Под щелочным раствором понимается продувочная масса.
Иными словами:
щелочной раствор = продувочная масса.

Пример: Тип установки 3
Подпитка (n+1) паровых котлов с суммарной паропроизводительностью ≤ 14 т/ч и т. д.

Общее условие: (n + 1) всегда $\leq \dot{m}_{FD}$

- При паропроизводительности котла ($\dot{m}_{FD}$) более 20 т/ч следует рассмотреть (с целью возврата теплоты) возможность использования теплоты щелочного раствора перед входом в охладитель стоков. Условием для этого является наличие соответствующего количества дополнительной питательной воды (умягченной воды). Потребность в охлаждающей воде (затраты на охлаждающую воду) должна быть сведена к минимуму.

  Принятое решение должно быть подтверждено с помощью технико-экономических расчетов.

Расчет
Требуемая мощность охладителя щелочного раствора $\dot{Q}_{L/K}$ (см. также рис. D.7.1.1-3) определяется по формуле:

$$\dot{Q}_{L/K} = \dot{m}_A \times c_p \times (T_{A/E} - T_{A/A})$$

$$= \dot{m}_{WW} \times c_p \times (T_{WW/A} - T_{WW/E}) \quad \text{кВт}$$

$$\dot{Q}_{L/K} = \dot{m}_{FD} \times 0{,}05 \times cp \times (T_{A/E} - T_{A/A})$$

$$= 12\,000 \times 0{,}05 \times 0{,}001163 \times (105 - 30)$$

$$= \dot{Q}_{L/K} = 52{,}33 \text{ кВт}$$

Экономия охлаждающей воды ($\Delta \dot{m}_{KW}$) рассчитывается по формуле:

$$\Delta\dot{m}_{KW} = \frac{\dot{m}_A \times (T_{A/E} - T_{A/A})}{(T_{AW} - T_{KW})}$$

$$= \frac{12\,000 \times 0{,}05 \times (105 - 30)}{(30 - 15)} = 3\,000 \text{ кг/ч}$$

Ожидаемое время амортизации (A_{mo}) определяется по формуле:

$$A_{mo} = \frac{\text{затраты на охладитель } (k_{L/K})}{\text{затраты на охлаждающую воду } (\Delta k_{KW})} \text{ лет}$$

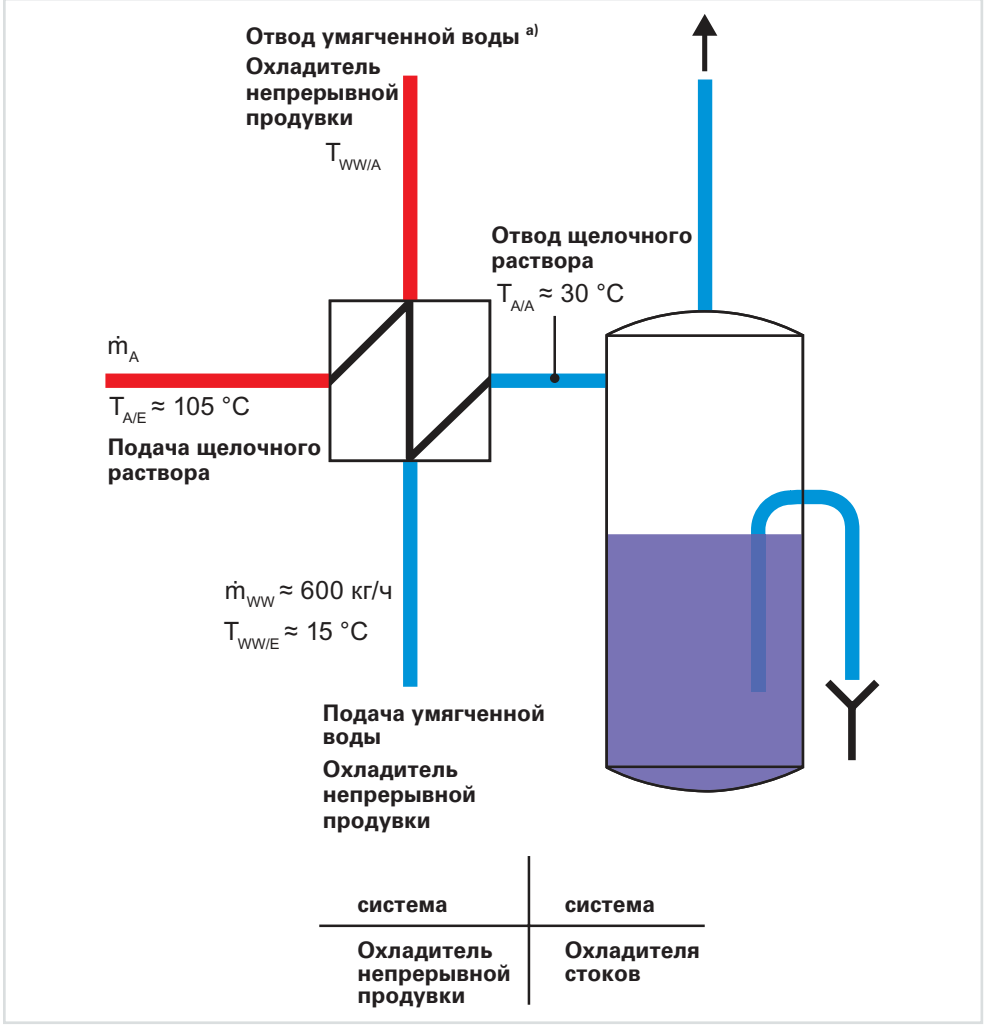
где:
- затраты на охладитель $k_{L/K} \approx 3500$ евро (пластинчатые теплообменники, включая трубопроводы и арматуры);
- затраты на охлаждающую воду Δk_{KW} = 3,50 евро/тонна и 3000 кг/ч ≙ 3т ($\Delta\dot{m}_{KW}$);
- количество часов работы за год b = 1760 часов (8 часов в день x 220 дней в году).

$$A_{mo} = \frac{3\,500 \text{ евро} \times a}{1\,760 \text{ ч} \times 3 \text{ т/ч} \times 3{,}50 \text{ евро/т}}$$

$$= 0{,}2\ a \triangleq 0{,}2 \text{ лет}$$

Примечание
Необходимо обеспечить непрерывный расход через охладитель умягченной воды и/или иной имеющейся в наличии у потребителя охлаждающей жидкости (например, сетевой воды).

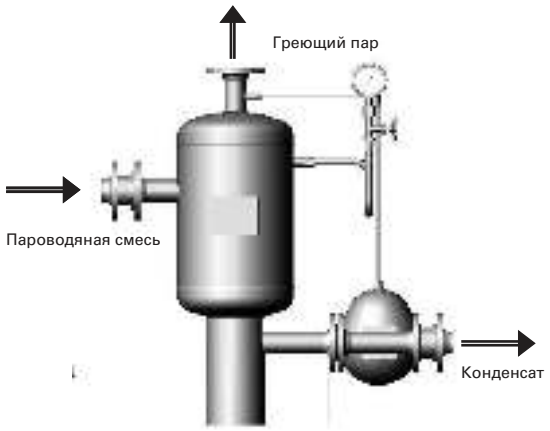
Рис. D.7.1.1-3: Охладитель непрерывной продувки



ср – теплоемкость щелочного раствора и умягченной воды – 0,001163 кВтч/кгК.

[a] В каждом конкретном случае необходимо дополнительно проверять, не требуется ли ограничение температуры (регулирование температуры с ограничением как функцией реле контроля) отводимой умягченной воды.

Рис. D.7.2.1-1: Сепаратор непрерывной продувки



Примечание

Количество теплоты (Q_{Lauge}), удаляемое с продувочной массой, возвращается обратно благодаря подводу греющего пара (пар вторичного вскипания) в бак запаса питательной воды. Соблюдается тепловой баланс:
$\dot{Q}_{Lauge} = \dot{Q}_{Entspannungsdampf}$

D.7.2. Сепаратор непрерывной продувки

D.7.2.1. Описание функций, расчет

Сепаратор непрерывной продувки предназначен для разделения на воду и пар пароводяной смеси, образующейся из продувочной воды котла при снижении ее давления до ок. 0,5 бар с последующим использованием теплоты воды и пара. Пар вторичного вскипания используется в деаэраторах в качестве греющей среды.

Сепаратор непрерывной продувки не требует для своей установки особого фундамента; достаточно, если основание будет плоским и несущим.

Емкость сепаратора непрерывной продувки имеет патрубки для:

- подачи продувочной массы от парового котла;
- отвода продувочной массы, для подключения охладителя стоков;
- отвода пара вторичного вскипания, для подключения термической деаэрации;
- подключения предохранительного клапана (опция) только при подаче пара вторичного вскипания в системы без предохранительных устройств;
- дренажа.

Исходные данные:

- непрерывная продувка A = 5%;
- массовый расход непрерывной продувки $\dot{m}_A = \dot{m}_{FD} \times A/100$ [кг/ч];
- температура щелочного раствора / непрерывная продувка T_A (°C), где $T_A = f(p_{E/D})$ (как функция избыточного давления пара вторичного вскипания $p_{E/D}$ из табл. 2 приложения). Допущение: T_A = 105 °C для $p_{E/D} \approx 0{,}21$ бар;
- расход пара вторичного вскипания $\dot{m}_{D/E}$ [кг/ч] (баланс теплоты и объема) для сепаратора непрерывной продувки. Значение энтальпии (как функции температуры и давления согласно табл. 2 для:
  массового расхода продувки на входе $h'_{A/E} = f(T_s$ – температура насыщенного пара) [кВтч/кг],
  массового расхода продувки на выходе $h'_{A/A} = f(p_{E/D})$,
  энтальпия питательной воды h'_{spw} [кВтч/кг],
  пар вторичного вскипания.

$h''_{D/E} = f(p_{E/D})$ [кВтч/кг]

a)

$$\dot{m}_{DE} = \frac{\dot{m}_A \times (h'_{A/E} - h'_{A/A})}{(h''_{D/E} - h'_{A/A})} \quad (кг/ч)$$

b)

$$\dot{m}_{DE} = \frac{\dot{m}_{FD} \times A/100 \times (h'_{A/E} - h'_{A/A})}{(h''_{D/E} - h'_{A/A})}$$

Расход щелочного раствора $\dot{m}_{L/A}$ из сепаратора непрерывной продувки определяется по формуле:

$$\dot{m}_{L/A} = \dot{m}_{FD} \times (A/100) - \dot{m}_{DE} \quad [кг/ч]$$

Пример расчета

Производительность парового котла	$\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч
Избыточное давление пара	p_B = 13 бар
Температура насыщенного пара	T_s = 195 °C
Избыточное давление пара в деаэраторе как давление пара вторичного вскипания	$p_{E/D} \approx$ 0,21 бар

Значения энтальпии как функции f = p_B, $p_{E/D}$ из табл. 2

$h'_{A/E} = f(p_B)$ = 0,230 кВтч/кг ≙ 830 кДж/кг

$h'_{A/A} = f(p_{E/D})$ = 0,122 кВтч/кг ≙ 439 кДж/кг

$h''_{D/E} = f(p_{E/D})$ = 0,745 кВтч/кг ≙ 2683 кДж/кг

$$\dot{m}_{DE} = \frac{\dot{m}_{FD} \times A/100 \times (h'_{A/E} - h'_{A/A})}{(h''_{D/E} - h'_{A/A})} = \frac{12\,000 \text{ кг/ч} \times 5/100 \times (0{,}230 - 0{,}122) \text{ кВтч/кг}}{(0{,}745 - 0{,}122) \text{ кВтч/кг}} \approx 104 \text{ кг/ч}$$

$\dot{m}_{L/A} = \dot{m}_{FD} \times A/100 - \dot{m}_{DE} = 12\,000$ кг/ч $\times$ 5/100 - 104 кг/ч

$\dot{m}_{L/A} \approx 496$ кг/ч

a) = приблизительный расчет на основании диаграммы табл. 6 при m_A =17,5%.

Объем емкости

- Для паропроизводительности котла от 14 до 75 т/ч определяется согласно таблице (ориентировочное значение).
- Для паропроизводительности котла менее 14 т/ч определяется на основании технических паспортов компании VIESSMANN.

Рис. D.7.2.1-2: $\dot{m}_{FD}$ – паропроизводительность котла от 14000 до 20000 кг/ч

p_B– Рабочее давление пара	Пароводяная смесь	Греющий пар	Подключения		Габаритные размеры			
	A[a] кг/ч	$\dot{m}_{D/E}$[a] кг/ч	$DN_{щелочь}$ подача/отвод	$DN_{пар}$ отвод	L x B м	H мм	Ø D мм	Объем[a] л
6,0	1000	116	20/25	65	950 x 750	1700	500	100
8,0	1000	135	20/25	65	1050 x 850	1800	600	320
10,0	1000	153	20/25	80	1050 x 850	1800	600	320
13,0	1000	173	20/25	80	1050 x 850	1800	600	320
16,0	1000	193	20/25	80	1050 x 850	2400	600	450
18,0	1000	204	20/25	80	1050 x 850	2400	600	450
20,0	1000	214	20/25	100	1050 x 850	2400	600	450
22,0	1000	223	20/25	100	1050 x 850	2400	600	450
25,0	1000	238	20/25	100	1050 x 850	2400	600	450

Примечание

Для многокотловой установки выбор осуществляется аналогично однокотловой установке с учетом параллельной подачи в сепаратор непрерывной продувки, как это было описано для охладителя стоков.

Рис. D.7.2.1–3: $\dot{m}_{FD}$ – паропроизводительность котла от 20000 до 40000 кг/ч

p_B– Рабочее давление пара	Пароводяная смесь	Греющий пар	Подключения		Габаритные размеры			
	A[b] кг/ч	$\dot{m}_{D/E}$[b] кг/ч	$DN_{щелочь}$ подача/отвод	$DN_{пар}$ отвод	L x B м	H мм	Ø D мм	Объем[b] л
6,0	2000	231	20/32	100	1050 x 850	2400	600	450
8,0	2000	270	20/32	100	1050 x 850	2400	600	450
10,0	2000	306	20/32	100	1050 x 850	2400	600	450
13,0	2000	347	20/32	100	1050 x 850	2400	600	450
16,0	2000	386	20/32	125	1250 x 900	2600	750	800
18,0	2000	408	20/32	125	1250 x 900	2600	750	800
20,0	2000	427	20/32	125	1250 x 900	2600	750	800
22,0	2000	446	20/32	125	1250 x 900	2600	750	800
25,0	2000	475	20/32	125	1250 x 900	2600	750	800

Рис. D.7.2.1–3: $\dot{m}_{FD}$ – паропроизводительность котла от 40000 до 75000 кг/ч

p_B– Рабочее давление пара	Пароводяная смесь	Греющий пар	Подключения		Габаритные размеры			
	A[c] кг/ч	$\dot{m}_{D/E}$[c] кг/ч	$DN_{щелочь}$ подача/отвод	$DN_{пар}$ отвод	L x B м	H мм	Ø D мм	Объем[c] л
6,0	3750	433	32/50	125	1250 x 900	2600	750	800
8,0	3750	506	32/50	150	1250 x 900	2600	750	800
10,0	3750	572	32/50	150	1250 x 900	2600	750	800
13,0	3750	650	32/50	150	1250 x 900	2600	750	800
16,0	3750	723	32/50	150	1500 x 1250	2400	1000	1200
18,0	3750	766	32/50	200	1500 x 1250	2400	1000	1200
20,0	3750	801	32/50	200	1500 x 1250	2400	1000	1200
22,0	3750	837	32/50	200	1500 x 1250	2600	1000	1400
25,0	3750	891	32/50	200	1500 x 1250	2600	1000	1400

[a] с учетом $\dot{m}_{FD(max)}$ = 20 000 кг/ч,
[b] с учетом $\dot{m}_{FD(max)}$ = 40 000 кг/ч,
[c] с учетом $\dot{m}_{FD(max)}$ = 75 000 кг/ч.

D.7.3. Охладитель выпара

D.7.3.1. Описание функций, расчет

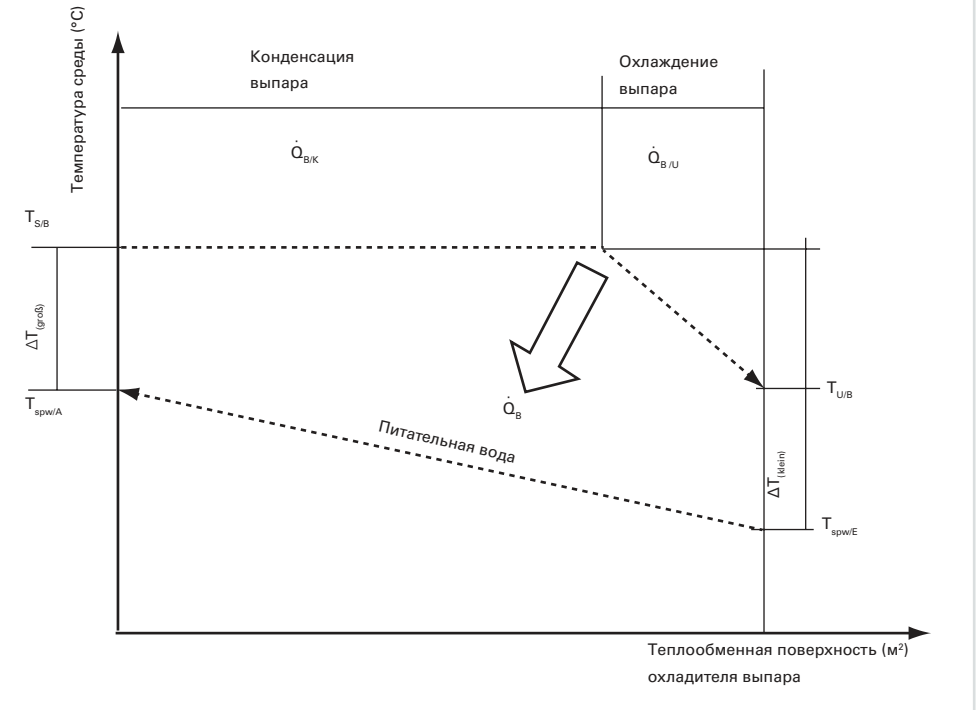
Здесь изложена более подробная информация о функциональных возможностях и принципах расчета охладителя выпара (в дополнение к C.8.3).

Благодаря конденсации выпара, а также последующему охлаждению конденсата выпара, «теплота выпара» может быть возвращена в систему. Для охлаждения можно использовать химически очищенную воду перед вводом в химически очищенную (при надлежащем подключении, см. приложение A.1). Процесс отображен на диаграмме температур теплообменных поверхностей (рис. D.7.3.1-1).

Отвод выделенных газов (O_2, CO_2) осуществляется непосредственно в атмосферу посредством специальной газоотводящей линии (через крышу). Конденсат утилизируется. Для многокотловой установки с общей термической водоподготовкой для дополнительной минимизации количества выпара рекомендуется устройство регулирующего вентиля, который устанавливается на трубопроводе выпара перед входом в конденсатор.

Управление регулирующим вентилем осуществляется посредством системы SPS (см. рис. D.7.3.1-2).

Рис. D.7.3.1-1: Диаграмма температур теплообменных поверхностей



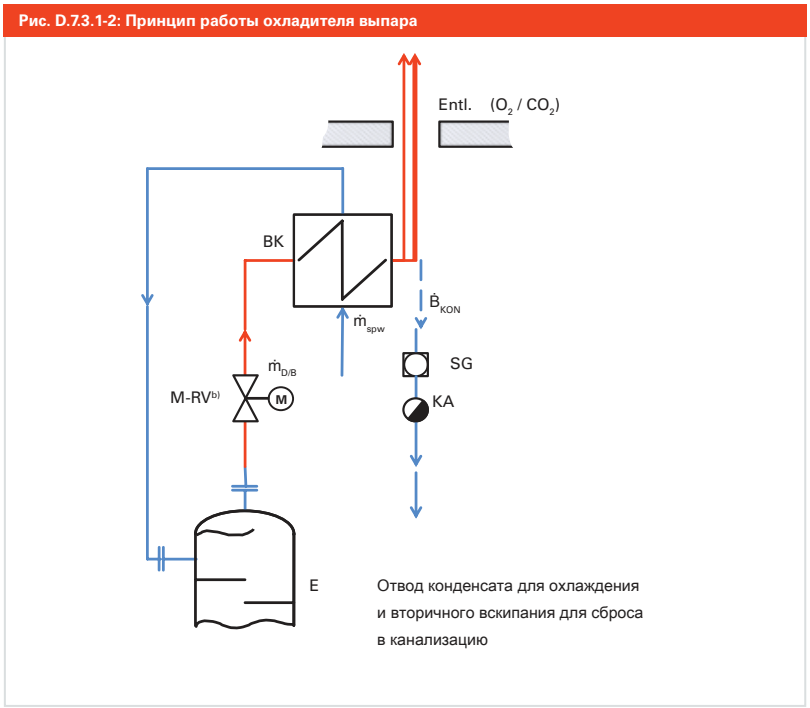
$T_{S/B}$ – температура насыщенного пара (выпар),

$T_{spw/E}$ – температура питательной воды (подача),

$T_{spw/A}$ – температура питательной воды (отвод),

$T_{U/B}$ – температура конденсата выпара (отвод).

Рис. D.7.3.1-2: Принцип работы охладителя выпара



BK – охладитель выпара,
M-RV – регулирующий вентиль (с электроприводом),
$\dot{m}_{D/B}$ – выпар,
$\dot{m}_{spw}$ – химически очищенная вода,
$\dot{B}_{KON}$ – конденсат выпара,
SG – ревизионное отверстие,
KA – конденсатоотводчик,
Entl. – отвод газов в атмосферу (через крышу),
E – деаэрационная колонка.

Информация для расчета:

- Количество выпара $\dot{m}_{D/B}$ определяется по формуле:

$$\dot{m}_{D/B} \approx \Gamma_{B/m} \times (\dot{m}_{KON} + \dot{m}_{Zu/spw})$$

$$= \Gamma_{B/m} (\dot{m}_{FD} \times (1 + A/100)) \quad [кг/ч]$$

где:

$\dot{m}_{KON}$ – возврат конденсата в деаэратор,
$\dot{m}_{Zu/spw}$ – расход химически очищенной воды в деаэратор,
$\dot{m}_{FD}$ – паропроизводительность котла,
A – процент непрерывной продувки,
$\Gamma_{B/m}$ – усредненный коэффициент для определения минимального количества выпара.

Примечание

На практике $\Gamma_{B/m}$ принимают равным от 0,005 до 0,01 [-], при этом более высокие значения принимаются при меньших объемах возвращаемого конденсата (< 40%).

- Конденсатор (теплообменник) выбирается на основании:

$$\Delta T_{klein} = T_{n/B} - T_{spw/E} \approx \text{от 2 до 5 K}$$

$$\Delta T_{groß} = T_{s/B} - T_{spw/A} \approx \geq 20 \text{ K}$$

- Потери давления (со стороны пара) – конденсатор ≤ $p_{B/E}$.
- Потери давления (со стороны воды) – конденсатор ≤ 0,5 бар.
- Тепловая мощность охладителя выпара ($\dot{Q}_B$) рассчитывается по формуле:

$$\dot{Q}_B = \dot{Q}_{B/K} + \dot{Q}_{B/U} = \dot{m}_{spw} \times c_P \times (T_{spw/A} - T_{spw/E})$$

или

$$\dot{Q}_B = \dot{m}_{D/B} (r_B + c_P \times (T_{S/B} - T_{U/B}))$$

где:

c_P – удельная теплоемкость конденсата и питательной воды ~ 4,19 кДж/кгК и/или 0,001163 кВтч/кгК,

r_B – теплота конденсации – выпар $r_B = (h''_{D/B} - h'_{K/B})$ в зависимости от давления деаэратора ($p_{B/E}$) из табл. 2 и/или:
$h''_{D/B}$ – энтальпия выпара = $\Gamma(p_{B/E})$
и
$h'_{K/B}$ – энтальпия конденсата = $\Gamma(p_{B/E})$

Пример расчета № 1

Расчет тепловой мощности охладителя выпара $\dot{Q}_B$ в кВт:

- Непрерывная продувка A = 5%
- Паропроизводительность котла $\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч
- Фактор минимального количества выпара $\dot{m}_{B/M} \approx 0{,}0075$ (задано)
  Расход выпара
  $\dot{m}_{D/B} = 0{,}0075 \times [12\,000\ (1+5/100)] = 94{,}5$ кг/ч
- Избыточное давление в деаэраторе $p_{B/D}$ = 0,21 бар
- $T_{S/B} = f(p_{B/E})$ из табл. 2 = 105 °C
- $r_B = f(p_{B/E})$ из табл. 2 = 0,623 кВтч/кг
- cp = 0,001163 кВтч/кгK
- Температура питательной воды $T_{spw/E}$ = 15 °C
- Разность между температурой греющего пара и температурой питательной воды на выходе ΔT_{klein} = 3 K (задано)
  ($T_{U/B}$ = 15 + 3 = 18 °C)

$\dot{Q}_B = 94{,}5\ [0{,}623 + 0{,}001163\ (105 - 18)] = 68{,}44$ кВт

Пример расчета № 2

Определение требуемого расхода питательной воды $\dot{m}_{spw}$ (кг/ч)

- Разность между температурой греющего пара и температурой питательной воды на выходе $\Delta T_{groß}$ = 20 K (задано)
- $T_{spw/A}$ = 105 - 20 = 85 °C

$$\dot{m}_{spw} = \frac{68{,}44\ \text{кВт} \times \text{кг} \times \text{K}}{0{,}001163\ \text{кВтч} \times (85 - 15)\ \text{K}} = 840{,}68\ \text{кг/ч}$$

Пример расчета № 3

Экономия и амортизация

- Топливо – природный газ E
  с H_i = 10,35 кВтч/нм³
- Средний КПД котла $\eta_{K(M)} \approx 94{,}75\%$
  (согласно техническому паспорту при применении экономайзера)
- Цена топлива k_{BP} = 0,414 евро/нм³
- Количество часов работы при полной нагрузке за год b = 6000 ч (задано)

$$KB = \frac{\dot{Q}_B \times k_B \times b}{H_i \times \eta_{K(M)}}$$

$$= \frac{68{,}44\ \text{кВт} \times 0{,}414\ \text{евро} \times 6000\ \text{ч}\quad \text{нм}^3}{10{,}35\ \text{кВтч} \times 94{,}75/100\quad \text{нм}^3} =$$

Годовая экономия составит K_B =17 335 евро/год

При дополнительных предполагаемых[a)] расходах (K_{Kon}) на охладитель выпара (включая трубопроводы, арматуру и регулирование количества выпара) в размере 11500 евро можно рассчитывать на амортизацию (A_K)

$A_K = K_{Kon} / K_B =$
=11 500 евро/год / 17 335 евро/год = 0,66 года.

[a)] Обязательное уточнение при получении конкретного предложения.

D.7.4. Охладитель питательной воды

D.7.4.1. Описание функций, расчет

Охладитель питательной воды охлаждает поступающую в экономайзер питательную воду до температуры ($T_{spw/K-A}$) ниже температуры насыщения в деаэраторе ($T_{S/E}$). Температуру питательной воды на выходе из охладителя питательной воды необходимо выбирать с учетом охлаждения дымовых газов на выходе из экономайзера (температура точки росы продуктов сгорания) (см. рис. D.2.3.3-1).
Ниже приведены данные для экономайзеров 100 и 200 типов с учетом термодинамических данных, согласно техническим паспортам для котлов серии Vitomax 200-HS.

В качестве охладителя питательной воды рекомендуются паянные пластинчатые теплообменники из нержавеющей стали. Принцип подключения в общую систему отображен на схеме в приложении A.1.

Расчет температуры питательной воды ($T_{spw/K-A}$) и выработки «дополнительной» тепловой мощности в экономайзере $\Delta\dot{Q}_{ECO}$ с точки зрения возврата теплоты.
Исходные данные:
температура питательной воды на выходе $T_{fw/O-ECO}$ остается для рассматриваемого случая неизменной (см. диаграмму температур теплообменной поверхности, рис. D.7.4.1-2).

Аналогично определению тепловой мощности экономайзера $\dot{Q}_{ECO}$ (см. D.2.3.1) рассчитывается «дополнительная» тепловая мощность $\Delta\dot{Q}_{ECO}$ с учетом снижения температуры питательной воды на входе в экономайзер.

Пример расчета

Исходные данные:

Паропроизводительность котла	$\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч
Рабочее давление	p_B = 12 бар
Фактор R_{ECO} = $f_{(pB)}$ для	$R_{ECO/200}$ = 1,044; $R_{ECO/100}$ = 1,067
Температура питательной воды на входе в экономайзер (как стандарт для расчетов)	$T_{spw/ECO-Standard}$ = 102 °C
Плотность продуктов сгорания	ϱ_{ABG} = 1,345 кг/нм³
Удельная теплоемкость питательной воды	c_P = 0,001163 кВтч/кгК
Непрерывная продувка	A = 5%
Температура продуктов сгорания на выходе для (как температура для расчета равна $f_{(PB)}$ и при 100% нагрузке котла)	$T_{ABG/ECO-200}$ ≈ 132 °C; $T_{ABG/ECO-100}$ ≈ 177 °C
Допустимое снижение температуры продуктов сгорания	
при сжигании жидкого топлива HEL	$T_{ABG/ECO-reduziert}$ = 125 °C
при сжигании природного газа E	$T_{ABG/ECO-reduziert}$ = 115 °C

$$\Delta\dot{Q}_{ECO} = \frac{(T_{ABG/ECO-Standard} - T_{ABG/ECO-reduziert}) - 8}{2500} \times \frac{\dot{m}_{FD} \times R}{\varrho_{ABG}}$$

$$\Delta\dot{Q}_{ECO} = \dot{m}_{FD} \times \frac{(1 + A)}{100} \times c_P \times (T_{spw/ECO-Standard} - T_{spw/A-K}) \quad [кВт]$$

где:

- $\Delta T_{ABG} = T_{ABG/ECO-Standard} - T_{ABG/ECO-reduziert}$ [°C]
- $\dot{m}_{spw} = \dot{m}_{FD} \times (1 + A/100)$ [кг/ч]

- понижение температуры питательной воды:

$$T_{spw/A-K} = T_{spw/ECO-Standard} - \frac{\frac{(T_{ABG/ECO-Standard} - T_{ABG/ECO-reduziert}) - 8}{2500} \times \frac{R_{ECO}}{\varrho_{ABG}}}{(1 + A/100) \times c_P}$$

Таким образом:

$$\Delta\dot{Q}_{ECO} = \frac{\Delta T_{ABG} - 8}{2500} \times \frac{\dot{m}_{FD} \times R}{\varrho_{ABG}} = \dot{m}_{spw} \times c_P \times (T_{spw/ECO-Standard} - T_{spw/A-K}) \; [кВт]$$

Данные сведены в таблицу (см. рис. D.7.4.1-1).

Рис. D.7.4.1-1: Таблица значений

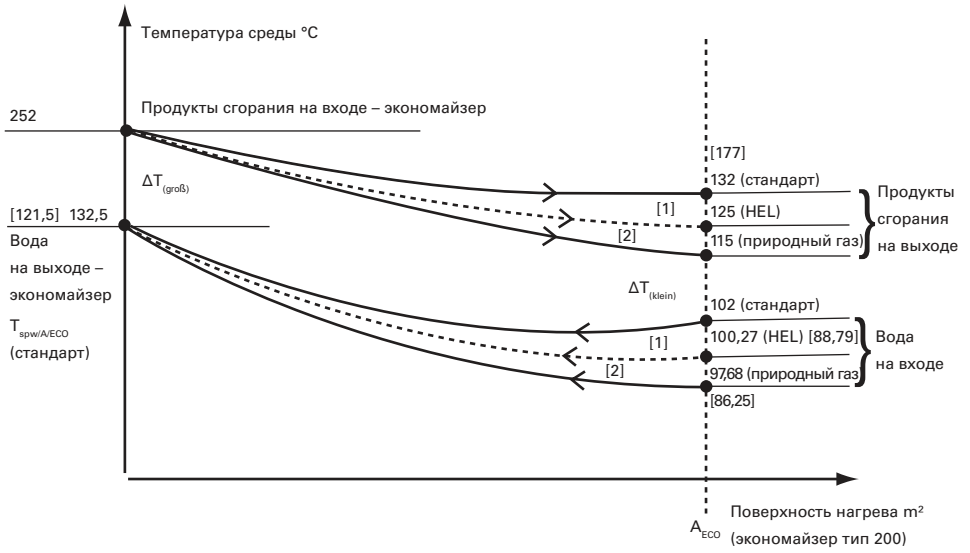
Значения:	Тип ECO-200			Тип ECO-100		
$T_{ABG/ECO-Standard}$ (°C)	132	132	132	177	177	177
$T_{ABG/ECO-reduziert}$ (°C)	HEL	Природный газ		HEL	Природный газ	
	125	115	100	125	115	100
$T_{spw/ECO}$ (расчет экономайзера) (°C)	102	102	102	102	102	102
Допустимое значение $T_{spw/A-K}$ (°C)	100,22	97,68	93,87	88,79	86,25	82,44
Разность температур[a] ($T_{ABG/ECO-reduziert}$ - $T_{spw/A-K}$) (K)	24,78	17,32	6,131[a]	36,21	28,75	17,56
$\Delta\dot{Q}_{ECO}$ (кВт)	26,08	63,30	119,14	193,57	230,79	286,63
$T_{spw/A-ECO}$ (при стандартном исполнении) (°C)	132,2	132,5	132,5	121,5	121,5	121,5

В приведенной ниже таблице представлены значения для экономайзера тип 200:

Примечание

Значения в скобках действительны также для экономайзера 100-го типа.

Рис. D.7.4.1-2: Диаграмма температур поверхностей нагрева



- $\Delta T_{(groß)}$ разность между температурой продуктов сгорания на входе и температурой воды на выходе
- $\Delta T_{(klein)}$ разность между температурой продуктов сгорания на выходе и температурой воды на входе
- 1) $\Delta\dot{Q}_{ECO}$ при сжигании жидкого топлива
- 2) $\Delta\dot{Q}_{ECO}$ при сжигании природного газа

a) Градиент (разность температур) не должен опускаться ≤ 10 K (для оптимальной площади поверхности нагрева экономайзера).

Пример расчета № 1

Экономия затрат (k_B):

Исходные данные:

Цена природного газа (E)[a] $k_B(E)$ ≈ 0,414 евро/нм³

Цена жидкого топлива[a] $k_B(HEL)$ ≈ 0,65 евро/нм³

Количество часов работы при полной нагрузке за год b ≈ 6000 ч/год

Экономия затрат рассчитывается по формуле:

$$K_B = \frac{\Delta\dot{Q}_{ECO} \times k_B \times b}{H_I \times \eta_{K(M)}}$$

Ежегодная ожидаемая минимальная экономия при сжигании жидкого топлива составит:

$$K_{B(EL)} = \frac{26{,}08 \times 0{,}65 \times 6000}{11{,}9 \times 0{,}9475} \approx 9\,021 \text{ евро/год}$$

Ежегодная ожидаемая минимальная экономия при сжигании газа составит:

$$K_{B(E)} = \frac{63{,}30 \times 0{,}414 \times 6000}{10{,}35 \times 0.9475} \approx 16\,034 \text{ евро/год}$$

Расчет охладителя питательной воды

Требуемая мощность охладителя – $\dot{Q}_{spw/K}$ (кВт) и температура питательной воды на выходе из охладителя – $T_{zu/spw/A\text{-}K}$ рассчитываются по формулам:

$$\dot{Q}_{spw/K} = \dot{m}_{zu/spw} \times c_P \times (T_{zu/spw/A\text{-}K} - T_{zu/spw/E\text{-}K}) =$$

$$\dot{m}_{spw} \times c_P \times (T_{s/E} - T_{spw/A\text{-}K}) \text{ [кВт]}$$

где:

$$\dot{m}_{spw} = \dot{m}_{FD} \times \frac{(1 + A)}{100} \text{ кг/ч}$$

и

$$\dot{m}_{zu/spw} = \dot{m}_{FD} \times \frac{(1 + A)}{100} - \dot{m}_{KON} \text{ кг/ч}$$

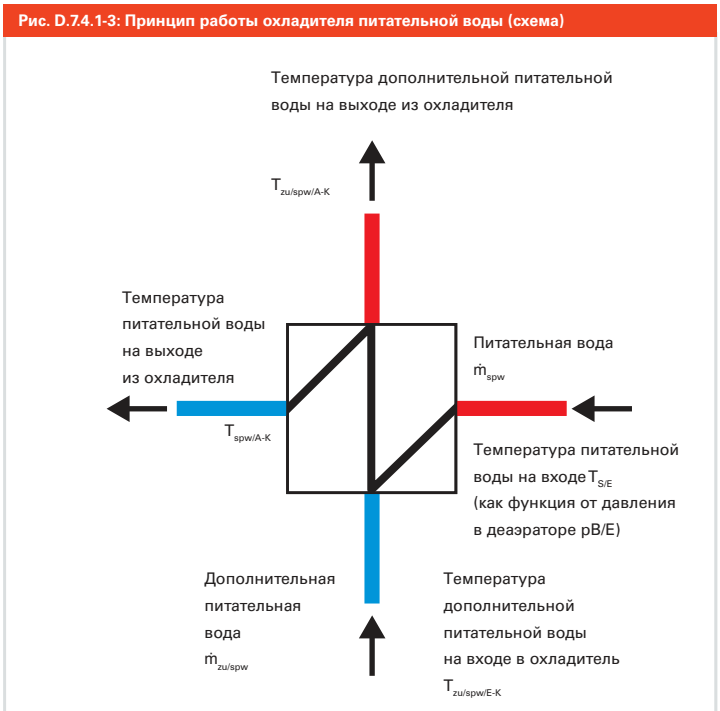
требуемая мощность охладителя:

$$\dot{Q}_{spw/K} = \dot{m}_{FD} \times (1 + A/100) \times c_P \times (T_{s/E} - T_{spw/A\text{-}K}) \text{ [кВт]}$$

температура питательной воды на выходе из охладителя:

$$T_{zu/spw/A\text{-}K} = \frac{\dot{Q}_{spw/K}}{[\dot{m}_{FD} \times (1 + A/100) - \dot{m}_{KON}] \times c_P} + T_{zu/spw/A\text{-}K}$$

Рис. D.7.4.1-3: Принцип работы охладителя питательной воды (схема)



a) Здесь можно посмотреть актуальные цены: www.heizoelboerse.de, www.carmen-ev.de.

Пример расчета №1

Исходные данные:

$T_{S/E} = f(p_{B/E} = 0{,}2 \text{ bar})$ = 105 °C

Количество возвращаемого в деаэратор конденсата – $\dot{m}_{KON} \approx 0{,}5 \times \dot{m}_{FD}$ = 6000 кг/ч

Температура дополнительной питательной воды на входе в охладитель – $T_{zu/spw/E\text{-}K}$ = 15 °C

Требуемая мощность охладителя при сжигании жидкого топлива составит:
$\dot{Q}_{spw/K} = 12\,000 \times (1+ 5/100) \times 0{,}001163 \times (105 - 100{,}22) = 70{,}04$ кВт

Требуемая мощность охладителя при сжигании газа составит:

$\dot{Q}_{spw/K} = 12\,000 \times (1+ 5/100) \times 0{,}001163 \times (105 - 97{,}68) = 108{,}51$ кВт

Соответствующие температуры дополнительной питательной воды на выходе из охладителя:

при сжигании жидкого топлива:

$$T_{zu/spw/A\text{-}K} = \frac{70{,}04}{[(1200 \times (1 + 5/100) - 6000)] \times 0{,}001163} + 15 = 24{,}10\ °C$$

при сжигании газа:

$$T_{zu/spw/A\text{-}K} = \frac{108{,}51}{(1200 \times (1 + 5/100) - 6000) \times 0{,}001163} + 15 = 29{,}13\ °C$$

Срок амортизации

Информацию об общих ожидаемых затратах (K_{ges}) на охладитель питательной воды, включая трубопроводы и арматуры, включая ожидаемые затраты на возможное увеличение поверхностей нагрева экономайзера, в зависимости от соответствующего значения – $\Delta\dot{Q}_{ECO}$, можно получить в виде коммерческого предложения от производителя.
Для «грубой» оценки затрат может быть применена упомянутая функция затрат экономайзера с
ΔK_{ECO} [a] $\approx 11\,500 + 23{,}94 \times \Delta\dot{Q}_{ECO}$ (евро),
а для охладителя питательной воды
$K_{Kühler} \approx 1758 + 2.86 \times \dot{Q}_{spw/K}$ (евро)
(диапазон значений $\dot{Q}_{spw/K} \geq 50$ до ≤ 900 кВт).

Пример расчета №2

$K_{ges} = \Delta K_{ECO} + K_{Kühler}$ (евро)
$= 23{,}94 \times \Delta\dot{Q}_{ECO} + 2{,}86 \times \dot{Q}_{spw/K} + 13\,258$ евро

и:

$A = K_{ges}/K_B$ [a]

Для сжигания жидкого топлива:

$K_{ges} = 23{,}94 \times 26{,}08 + 2{,}86 \times 70{,}04 + 13\,258 \approx 14\,083$ евро

$A = 14\,083/9021 \approx 1{,}56$ года

Для сжигания газа:

$K_{ges} = 23{,}94 \times 63{,}30 + 2{,}86 \times 108{,}51 + 13\,258 \approx 15\,084$ евро

$A = 15\,084/16\,034 \approx 0{,}94$ года

Примечание

Касательно [a]
Несмотря на увеличение средней логарифмической разности температур, $\Delta T_m = (\Delta T_{gr} - \Delta T_{kl}) / (\text{в } \Delta T_{gr} / \Delta T_{kl})$ в [K] площадь поверхности экономайзера не изменяется.

Температура питательной воды на входе и выходе из экономайзера может изменяться (см. данные таблицы). Температура питательной воды на входе в экономайзер не должна опускаться ниже 85 °C. При изменении паропроизводительности котла температура питательной воды на выходе также может снижаться.

Однако точные данные можно получить только вследствие теплового расчета экономайзера с учетом от его конструкции, отправив запрос по адресу: info@viessmann.com.

Выводы

- Наиболее эффективно применение охладителя питательной воды в сочетании с экономайзером 200-го типа и при сжигании природного газа E.
- Доступный потенциал при использовании экономайзера 100-го типа намного выше, чем для 200-го типа, особенно при сжигании жидкого топлива.
- Термодинамически сбалансированная температура питательной воды на выходе из охладителя в диапазоне между 83 и 89 °C для экономайзера 100-го типа или в диапазоне между 94 и 100°C для экономайзера 200-го типа (см.таблицу рис. D.7.4.101) должны выбираться на 10 K выше во избежание снижения ниже точки росы при сжигании жидкого топлива. Стандартная температура питательной воды на выходе из экономайзера 100-го типа также соответствующим образом должна увеличиться.
- Концепция установки должна способствовать максимальному возврату теплоты из продуктов сгорания (например, посредством использования экономайзера 100/200-го типов).

По этой причине дополнительное применение охладителя питательной воды, приемлемое с точки зрения затрат и амортизации ≤ 1,0 года, возможно лишь как дополнительный вариант оптимизации.

При применении следует проверить, требуется ли ограничение температуры для отводимой из охладителя умягченной воды (регулирование температуры с ограничителем).

Рис. D.7.5.1-1: Охладитель проб (рабочая схема)



D.7.5. Охладитель проб

D.7.5.1. Рекомендации по установке и забору проб

Согласно TRD 611 5, EN 12953 Часть 10 требуется непрерывный контроль питательной и котловой воды.

Забор проб производится периодически, пробы отправляются для соответствующего лабораторного анализа (может производиться на месте в помещении котельной установки и/или в специальной промышленной лаборатории). Однако перед забором пробы необходимо охладить до температуры ≤ 30 °C.

Охладитель проб производства компании VIESSMANN может применяться как для охлаждения котловой воды, так и для охлаждения питательной воды (при соответствующей схеме подключения). Вода, которой необходимо охладить отбираемые пробы, отбирается из сетевого трубопровода (см. инструкцию по монтажу).

Обозначения

WK - котловая вода (при возможности: забор проб из линии опорожнения – отражает уровень воды в паровом котле);

W_{spw} - питательная вода (отбор из бака запаса питательной воды и/или трубопровода питательной воды);

WTW - сетевая вода (холодная вода) – отбор из водопровода (от R 1/8 до R 1/2 = PN6);

WAW - отвод воды (канализация), (от R 3/4 до R 1).

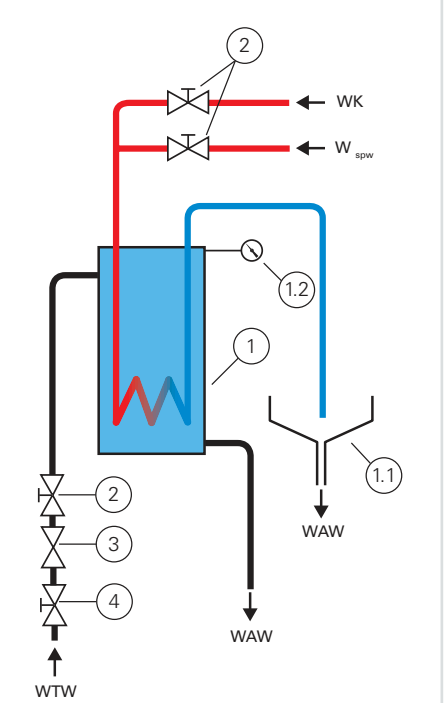
1. Охладитель проб с:
   1.1. Отводом в дренаж
   1.2. Индикацией температур (рекомендуется)
2. Запорный шаровый кран
3. Обратный клапан
4. Запорный шаровый кран (с подключением сливного патрубка)

Полученные вследствие химического анализа значения необходимо отразить в эксплуатационном журнале котла. Контроль осуществляется периодически, но как минимум 1 раз за 8 часов рабочего времени.

Для режима эксплуатации установки согласно TRD 604 лист 1 (режим эксплуатации без постоянного присутствия персонала – здесь специально для 72-BosB) рекомендуется постоянное наблюдение (см. D.4.5 Химический анализ воды). Установка охладителя должна осуществляться как можно ближе к месту забора проб.

В качестве емкости для забора проб подойдут:
колбы Эрленмейера (н-р. при мгновенном лабораторном исследовании) и/или стеклянные бутылки с притертой пробкой емкостью 1 л.

Рис. D.7.5.1-1: Охладитель проб



Результаты химического анализа, подлежащие документированию:

- pH-значение;
- остаточная жесткость;
- p-значение (для определения свободной щелочности);
- m-значение (для определения общей щелочности);
- фосфаты;
- сульфиты.

Требования к котловой воде и питательной воде отражены в приложении A.3.



Системы трубопроводов

В данном руководстве представлены рекомендации по проектированию основных систем трубопроводов в котельной (см. раздел C.9).

Проектирование предусматривает тесное сотрудничество между предприятием, выполняющим работы по прокладке трубопроводов, соответствующими контролирующими и эксплуатирующими органами.

Ряд рекомендаций и расчетов могут распространяться также на трубопроводы, неупомянутые в данном руководстве, для транспортирования жидких и газообразных сред. Рассматриваемые здесь системы трубопроводов ограничены территорией здания котельной и территорией радиусом до 1 м за ее пределами.

Примечание

Необходимо учитывать национальные нормы и стандарты.

D.8.1. Системы трубопроводов

D.8.1.1. Диаметр условного прохода

Диаметр условного прохода (обозначение: DN) – это величина, которая используется как общий критерий соответствия элементов трубопроводов друг другу.

Условный проход не имеет единиц измерения (см. таблицу ниже) и не может использоваться как размер, поскольку он лишь отчасти соответствует внутреннему диаметру трубопровода.

Поскольку наружный диаметр, как правило, определяется производителем, внутренний диаметр в зависимости от толщины стенок может отличаться от условного диаметра.

Выбор диаметра условного прохода и классификация труб выполняются согласно DIN EN 1092-1.

Примечание

Размеры и вес бесшовных и сварных стальных труб для типоряда от 1 до 3 приведены в DIN EN 10220. Как правило, рекомендуются трубы типоряда 1. Для труб типоряда 1 существуют все необходимые для монтажа стандартные комплектующие (фитинги, фланцы и т. п.). Для типоряда 2 имеются не все стандартные (унифицированные) комплектующие, а для типоряда 3 такие стандартные комплектующие практически отсутствуют.

Рис. D.8.1.1-1: Диаметр условного прохода

DN 10 (17,2)	DN 40 (48,3)	DN 125 (139,7)	DN 350 (355.6)	DN 700 (711)	DN 1400 (1420)
DN 15 (21,3)	DN 50 (60,3)	DN 150 (168,3)	DN 400 (406.4)	DN 800 (813)	DN 1600 (1620)
DN 20 (26,9)	DN 65 (76,1)	DN 200 (219,1)	DN 450 (457)	DN 900 (914)	DN 1800 (1820)
DN 25 (33,7)	DN 80 (88,9)	DN 250 (273)	DN 500 (508)	DN 1000 (1016)	DN 2000 (2020)
DN 32 (42,4)	DN 100 (114,3)	DN 300 (323,9)	DN 600 (610)	DN 1200 (1220)	---

Примечание: Значения в скобках – наружный диаметр трубопровода (мм)

D.8.1.2. Номинальное давление

Номинальное давление (PN) для системы трубопроводов и ее элементов (труб, фланцев, фитингов, арматуры и т. п.) является критерием для подбора по давлению и присоединительным размерам. Значения номинального давления классифицированы и приведены в таблице ниже.

Выбор давления для системы трубопроводов выполняется согласно DIN EN 1092-1.

Рис. D.8.1.2-1: Номинальное давление

PN 2,5	PN 25	PN 160
PN 6	PN 40	PN 250
PN 10	PN 63	PN 320
PN 16	PN 100	PN 400

Номинальное давление = максимально допустимому избыточному давлению (в бар) при температуре T = 20 °C.

Примечание

Заданное номинальное давление согласно DIN EN 1092-1 всегда должно отвечать условию: $PN \geq P_D \times (R_{P0.2(20°C)} / R_{P0.2(TBetr.)})$ где:

P_D – расчетное давление (расчетное избыточное давление = гарантированное рабочее давление) конструктивных элементов (труб, фланцев и т. п.) в бар;

$R^{a)}P0.2$ – минимальный предел текучести при температуре помещения ($R_{P0.2\ (20°)}$) или при расчетной рабочей температуре ($R_{P0.2\ (TBetr.)}$).

Рассчитанное при рабочей температуре ($T_{Betr.}$) максимально допустимое давление (p_D) не должно превышать значение номинального давления (PN).

Для расчетных рабочих температур ($T_{Betr.}$) от -10 °C to 120 °C, для черных металлов можно принять следующее отношение: $PN \approx P_D$.

[a] Информация о минимальном пределе текучести для литых, кованых, и горячекатаных элементов изложена в DIN EN 10216-2/10217-2 для труб и DIN EN 1092-1.

D.8.1.3. Давление (Pp) для гидравлических испытаний

Система трубопроводов, арматура и монтажные элементы (в последующем именуемые «устройства под давлением») должны соответствовать величинам пробного давления согласно «Директиве 97/23/EG Европейского Парламента и Совета по объединению законодательной базы стран-членов Евросоюза, регулирующей производство и эксплуатацию устройств под давлением». Если пробное давление согласно Директиве выше допустимого номинального давления для арматуры, то арматуру следует выбирать по ближайшему более высокому номинальному давлению (см. D.8.1.2). Устройства под давлением следует подвергать заключительным испытаниям. Процесс приемки устройств под давлением должен основываться на испытаниях под давлением в форме гидростатического испытания под давлением, где минимальное значение пробного давления принимается равным Pp ≈ 1,43 x P_D.

Примечание

Если гидравлическое испытание под давлением сопряжено с трудностями или вообще неосуществимо, необходимо провести альтернативные испытания по согласованию с заказчиком и независимой службой технического контроля, в зависимости от категории I, II или III.
Категория системы трубопроводов определяется в зависимости от транспортируемой жидкости по PD x DN на основании диаграммы 6 и 7 (приложение II) DGRL, при этом природный газ E относят к 1-й группе, а другие жидкости – ко 2-й группе.

Римские цифры в обозначении категории соответствуют модульной категории системы трубопроводов:

категория I	модуль A,
категория II	модули A1, D1 и/или E1,
категория III	модули B1+D, B1+F, B+E, B+C1 и/или H.

Выбор модуля категории необходимо осуществлять по согласованию с монтажной организацией, заказчиком и независимой службой технического контроля. Исключением являются системы трубопроводов (устройства под давлением), которые относятся к категории I.

Обязательный контроль, периодический осмотр систем трубопроводов осуществляется монтажной организацией, заказчиком и независимой службой технического контроля.

Качество системы трубопроводов и документация к системе должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечивать установленные максимальные сроки (5 лет).

Рис. D.8.1.1-1: Модульные категории

Модуль A, A1	Внутренний межоперационный производственный контроль для A, дополненный контролем со стороны независимой службы технического контроля для A1
Модуль B	EC-тест независимой службой технического контроля, с проверкой квалификации персонала, выполняющего швы и стыки и ZfP-персонала (неразрушающего контроля)
Модуль B1	Аналогично модулю B, но без испытаний опытных образцов
Модуль C1	Единообразие конструкции, независимая служба технического контроля осуществляет периодический контроль производства и проводимых производителем испытаний случайного образца
Модуль F	Испытания продукции EG независимой службой технического контроля как основание для оценки единообразия
Модуль D,E,H	Наряду с классическими испытаниями для оценки единообразия дополнительно вводится система QS и экспертиза со стороны независимой службы технического контроля

D.8.1.4. Рабочая температура и рабочее давление

Рис. D.8.1.4-1: Рабочая температура систем трубопроводов

Номинальное давление N[6]	Рабочее давление (бар)	Пар[1] (°C)	Щелочной раствор[2] периодической продувки (°C)	Щелочной раствор[2] периодической продувки (°C)	Выпар[4] (°C)	Конденсат[5] (закрытая система) (°C)	Конденсат (открытая система) (°C)	Питательная вода (°C)
16	0,5	111	111	110	110	111	95	110
16	1,0	120	120			120		
16	2,0	134	134			134		
16	3,0	148	148			148		
16	4,0	152	152			152		
16	5,0	159	159			159		
16	6,0	165	165			--		
16	8,0	175	175			--		
16	10,0	184	184			--		
25	13,0	195	195			--		
25	16,0	204	204			--		
25	18,0	210	210			--		
40	20,0	215	215			--		
40	22,0	220	220			--		
40	25,0	226	226			--		

1. Необходимый перегрев ($\Delta T_ü$) $\Delta t_ü \approx 50$ K (стандарт)
2. Температура перед расширителем
3. Температура после расширителя $p_D \sim 0{,}5$ бар
4. При снижении давления до атмосферного
5. При $p_D max \sim 5{,}0$ бар
6. Номинальное давление в зависимости от парового котла в первом приближении. Дополнительно рекомендуется контроль согласно D.8.1.2

D.8.1.5. Маркировка систем трубопроводов

Маркировка систем трубопроводов осуществляется в соответствии с DIN 2403 в зависимости от рабочей среды в трубопроводе. В систему трубопроводов включают трубы, их соединения, арматуру и фитинги, а также тепловую изоляцию. Рабочая среда в трубопроводе в зависимости от ее общих свойств подразделяется на 10 групп, цвета каждой группы (согласно регистру цветов RAL) отражены в таблице ниже. Для особого обозначения воспламеняемости верхняя часть таблички для групп 4 и 8 окрашивается в красный цвет (RAL 3000).

D.8.1.6. Технологические схемы, условные обозначения для систем трубопроводов

Задача технологической схемы (схемы установки, тепловой и электрической схемы, схемы трубопроводов и т. п.) заключается в упрощенном графическом отображении (с помощью графических символов и знаков) структуры и функционирования установки. Технологическая схема предназначена для пояснения работы системы и используется заказчиком, производителем, независимой службы технического контроля (ZÜS) и т. п.

Расположение оборудования и его изображение на схеме должны полностью соответствовать назначению системы (паровая котельная установка). Основой являются графические символы и знаки (условные обозначения) согласно DIN 2481, 2429, 19227 и DIN 28004 (см. A.1). Отображенные в технологической схеме элементы (паровой котел и его комплектующие, трубопроводы и их элементы (включая компоненты системы управления)) должны соответствовать единой системе обозначений.

Единая система обозначений позволяет стандартно и однозначно описать каждый отдельный элемент паровой котельной установки.

Рис. D.8.1.5-1: Обозначение систем трубопроводов

Рабочая среда	Группа	Цвет	Регистр цветов RAL
Вода	1	зеленый	RAL 6018
Водяной пар	2	красный	RAL 3000
Воздух	3	серый	RAL 7001
Горючие газы	4	желтый или желтый с дополнительным красным цветом	RAL 1021 RAL 3000
Негорючие газы	5	желтый с дополнительным черным цветом или черный	RAL 1021 RAL 9005
Кислоты	6	оранжевый	RAL 2003
Щелочи	7	фиолетовый	RAL 4001
Горючие жидкости	8	коричневый или коричневый с дополнительным красным цветом	RAL 8001 RAL 3000
Негорючие жидкости	9	коричневый с дополнительным черным цветом или черный	RAL 8001 RAL 9005
Кислород	0	голубой	RAL 5015

Примечание

Для определения категорий в зависимости от применяемой рабочей среды (группа 1 и/или группа 2) см. ниже диаграмму, взятую из «Директивы 97/23/EG Европейского Парламента и Совета по объединению законодательной базы стран-членов Евросоюза, регулирующей производство и эксплуатацию устройств под давлением».

D.8.2. Спецификации – материалы, сварочные работы

В рамках данного руководства даны рекомендации по проектированию основных систем трубопроводов (см. раздел C.9).

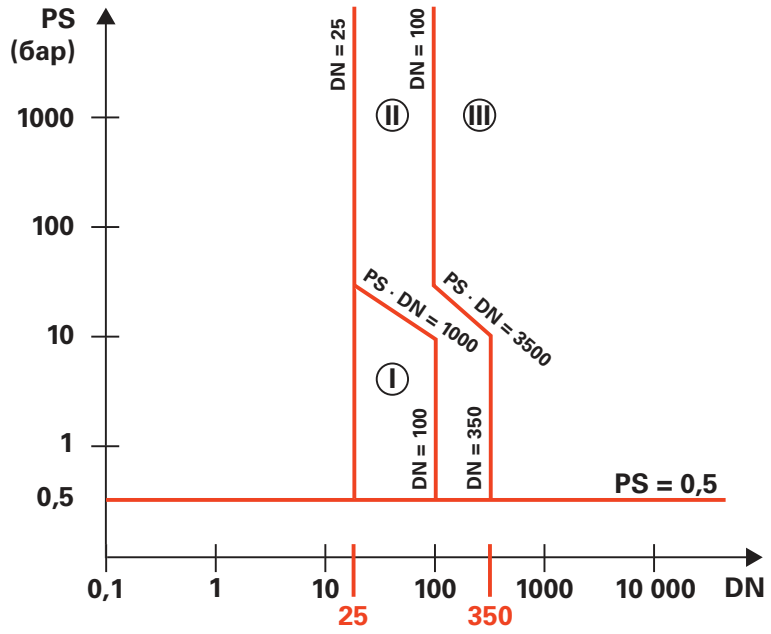
Основные документы:
TRD 100 – материалы,
AD 2000 – технические паспорта,
W4 – трубы из нелегированной и легированной стали, W9 – болты и гайки из ферритной стали, W9 – стальные фланцы),
DIN EN 13480 материалы,
TRD 201 сварка стальныех элементов.

Применение материалов должно быть согласовано с директивой 97/23/EG.

Для устройств под давлением категории I (см. D.8.1.3) согласно DIN EN 10204 тип 2.2 требуется предоставление заводского сертификата (подтверждение от производителя), а для устройств под давлением категорий II и III – сертификата приемочных испытаний в зависимости от заданных и/или требуемых испытаний согласно тип 3.1 и/или тип 3.2.

Рабочая среда группы 1
(природный газ E).

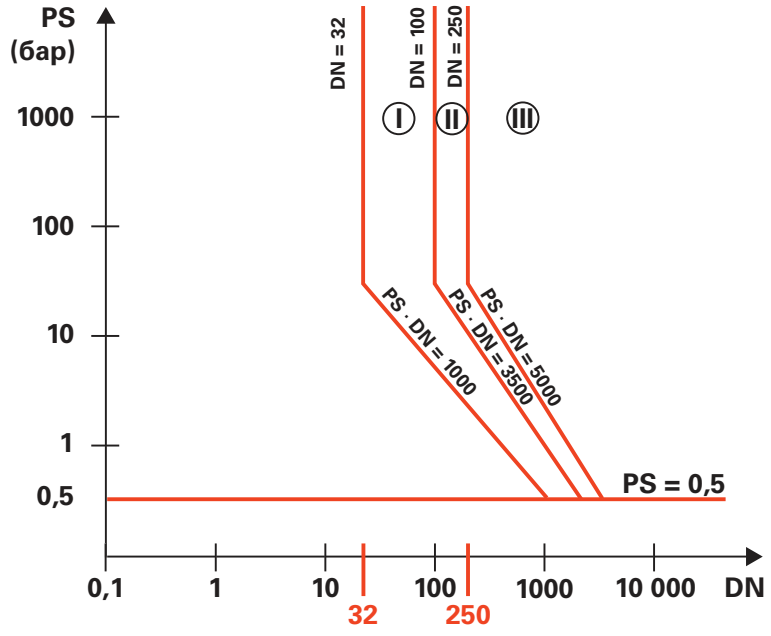
Рис. D.8.2-1: Трубопровод в соответствии с директивой 97/23/EG



«… В порядке исключения трубопроводы, которые предусмотрены для нестабильных газов и согласно диаграмме 6 попадают в категории I и II, относят к категории III….».

Рабочая среда группы 2
(пар, конденсат, вода, жидкое топливо и т. д.).

Рис. D.8.2-2: Трубопровод в соответствии с директивой 97/23/EG



«… В порядке исключения трубопроводы, рабочая среда в которых имеет температуру более чем 350 °C, и согласно диаграмме 7 попадают в категорию II, относят к категории III….»

Для применения рекомендуются:

D.8.2.1. Материалы для описанных в D.8.5 систем трубопроводов

Рис. D.8.2.1-1: Трубопроводы

Ферритная сталь:

Материал	Номер материала	Температура (°C)	Стандарты
P235TR1 P235TR2	1.0255[1]	≤ 50	DIN EN 10216-1 DIN EN 10217-1
P265TR2 P265TR1	1.0259[1]	≤ 50	соответственно DIN EN 10224
P235GH	1.0345[4]	≤ 450	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
P265GH	1.0425[5]	≤ 450	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
16Mo3	1.5415	≤ 500	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
13CrMo4/5	1.7335	≤ 500	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
10CrMo9/10	1.7380	≤ 500	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
14MoV6/3	1.7715	≤ 550	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
X10CrMoVNb9/1	1.4903	≤ 600	DIN EN 10217-2[3,7] DIN EN 10216-2
Аустенитная сталь[6]:			
X6CrNiMoTI17-12-2	1.4571[2]	≤ 550	DIN EN 10217-7 DIN EN 10216-5
X6CrNiTi18-10	1.4541[2]	≤ 550	DIN EN 10217-7 DIN EN 10216-5

Примечание

1. Трубопроводы под давлением (бесшовные и/или сварные) или трубы и фитинги из стали для применения преимущественно в описанных в D.8.5.4-C системах трубопроводов (система трубопроводов питьевой воды) и оцинкованные трубы.
2. Трубы из нержавеющей стали (старое обозначение «V4-A») для применения преимущественно в описанных в D.8.5.4-E системах трубопроводов (система трубопровода умягченной воды) бесшовных и/или сварных.
3. Для применения преимущественно в системах трубопроводов продуктов сгорания согласно DIN EN 10217-2 (сварные стальные трубы).
4. Для применения преимущественно в системах с жидким топливом (старое обозначение «St 37»).
5. Для применения преимущественно в системах с природным газом (старое обозначение «St 35.0»).
6. Применение аустенитных труб согласно DIN EN 10216-5 (бесшовные трубы) и/или согласно DIN EN 10217-7 (сварные трубы).
7. Для греющих трубопроводов (более 100 °C) необходимо применять бесшовные стальные трубы согласно DIN EN 10216-2.

Примечание

Примечание 1
В случае применения сварных труб согласно DIN EN 10217 при расчете прочности рекомендуется учесть коэффициент прочности сварного шва = 0,85.

Примечание 2
При выписке сертификата приемочных испытаний (DIN EN 10204) дополнительно следует учесть следующее:

- для ферритной стали: AD 2000 лист W4 и TRD 102,
- для аустенитной стали: AD 2000 лист W2 и TRD 102.

D.8.2.2. Листовой материал

Только если необходимо для материалов из ферритной стали согласно DIN EN 10028-2, как, например:

Рис. D.8.2.2-1: Материалы

Материал	Номер материала	Температура (°C)
S235JR	1.0037	≤ 100
S235JRG2	1.0038	≤ 300
P235GH	1.0345	≤ 400
P265GH	1.0425	≤ 450
16Mo3	1.5415	≤ 500
13CrMo4/5	1.7335	≤ 530

С сертификатом приемочных испытаний согласно DIN EN 10204 и AD 2000 лист W1, а также TRD 101 со ссылкой на требуемые материалы из аустенитной стали согласно DIN EN 10028-7, как, например: если необходимо для конденсационной техники и сертификата приемочных испытаний согласно DIN EN 10204 и AD 2000 лист W2, а также TRD 101.

Рис. D.8.2.2-2: Материалы

Материал	Номер материала	Температура (°C)
X6CrNiMoTI 17-12-2	1.4571	≤ 550
X6CrNiTI18-10	1.4541	≤ 550

D.8.2.3. Материалы для фланцев

С учетом DIN EN 1092-1 «Фланцы и их соединения (стальные фланцы)», а также DIN EN 10222-2 «Поковка из стали для работы под давлением» и DIN EN 10025 «Технические условия поставки» рекомендуется:

Рис. D.8.2.3-1: Материалы

Диапазон температур (°C)	PN16	PN25 – PN40	≥ PN63
≤ 120	S235JRG2 (1.0038) P250GH (1.0460)	S235JRG2 (1.0038) P250GH (1.0460)	P250GH (1.0460) 16Mo3 (1.5415)
> 120 – ≤ 400	P250GH (1.0460)	P250GH (1.0460)	P250GH (1.0460) 16Mo3 (1.5415)
> 400 – ≤ 500		16Mo3 (1.5415) 13CrMo4-5 (1.7335)	16Mo3 (1.5415) 13CrMo4-5 (1.7335) 10CrMo9-10 (1.7380)
> 500 – ≤ 550			10CrMo9-10 (1.7380)

Примечание

- Сертификат приемочных испытаний согласно DIN EN 10204, при необходимости дополнительно со ссылкой на AD 2000 лист W9 TRD и 100.
- С учетом стандартов следует выбирать тип фланца 11 (фланцы предварительной сварки) и тип фланца 05 (глухие фланцы).
- С учетом стандартов рекомендуется исполнение уплотнительных кромок формы B2 для систем трубопроводов пара и горячей воды, а также формы B1 для систем трубопроводов холодной воды (≤ 50 °C).
- Стыковка концов фланцев предварительной сварки с диаметром подключаемых трубопроводов с учетом дополнительного краевого смещения (± 8% - ± 10% толщины стенок (T) согласно DIN EN 10216-2/10217-2, рекомендуется ≤ 2мм) (см. рис. D.8.2.3-2 и рис. D.8.2.3-3).

Необходимо дополнительно учесть DIN EN ISO 5817 «Оценочные группы нестандартных случаев»!

Примечание

С учетом допустимого рабочего давления из-за «падения» зависящего от температуры предела текучести при растяжении.

Рис. D.8.2.3-2: Соединение «труба/труба»

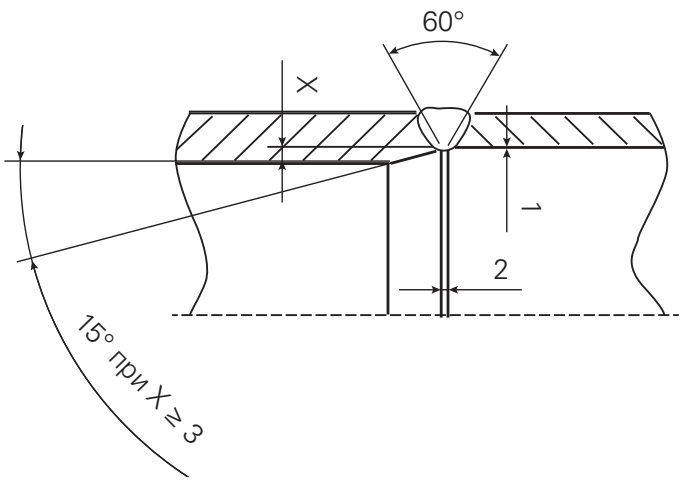
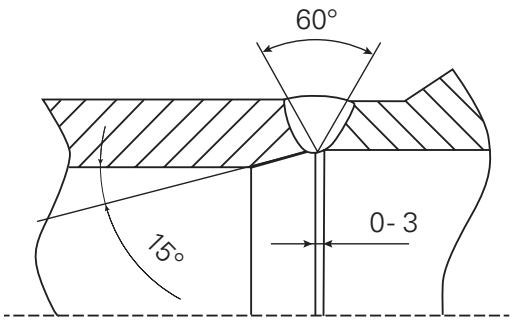


Рис. D.8.2.3-3: Соединение «труба/фланец»



Условные обозначения

D_i – внутренний диаметр трубы / фланца,
DN_R – диаметр условного прохода (внешний диаметр) трубы,
s'_R/s_R – толщина стенки трубы,
s_{RF} – толщина стенки фланца,
Δ_x – краевое смещение (макс. ≤ 2 мм),
S_{sp} – зазор в месте сварки,
α – 15° подгонка к Di при Δ_x > 2 мм.

D.8.2.4. Болты и гайки

С учетом DIN EN 20898 «Нелегированные соединительные элементы», а также DIN EN 10268 «Легированные соединительные элементы» и DIN EN 1515 «Выбор болтов и гаек» рекомендуется:

Рис. D.8.2.4-1: Болты и гайки

Диапазон температур (°C)	Компоненты	PN16	PN25– PN40	≥ PN63 – ≤ 100
≤ 100	болт	5,6	–	–
	гайка	5		
> 100 – ≤ 300	болт	5,6	5,6	25CrMo4 (1.7218)
	гайка	5	5	C35E (1.1181)
> 300 – ≤ 350	болт	–	25CrMo4 (1.7218)	25CrMo4 (1.7218)
	гайка		C35E (1.1181)	C35E (1.1181)
> 350 – ≤ 400	болт	–	25CrMo4 (1.7218)	21CrMoV5-7 (1.7709)
	гайка		C35E (1.1181)	25CrMo4 (1.7218)
> 400 – ≤ 450	болт	–	21CrMoV5-7 (1.7709)	21CrMoV5-7 (1.7709)
	гайка		25CrMo4 (1.7218)	25CrMo4 (1.7218)
> 450 – ≤ 540	болт	–	21CrMoV5-7 (1.7709)	21CrMoV5-7 (1.7709)
	гайка		21CrMoV5-7 (1.7709)	21CrMoV5-7 (1.7709)
Аустенит ≤ 400	болт[a)]	A4-70 (A4-50)	A4-70 (A4-50)	–
	гайка[a)]	A4-70 (A4-50)	A4-70 (A4-50)	

Рекомендации

- Сертификаты приемочных испытаний согласно DIN EN 10204 тип 2.2 для соединительных элементов согласно DIN EN 20898 (болты 5.6 / гайки 5), при необходимости дополнительно со ссылкой на AD 2000 лист W7 и TRD 106 с рекомендацией:
  * тип 3.1 – для гаек согласно DIN EN 10269;
  * тип 3.2 – для болтов согласно DIN EN 10269.
- Для температур свыше 300 °C рекомендуется применение болтовых соединений (с укороченным стержнем) только со способностью к удлинению согласно DIN 2510.

[a)] Примечание:
A4-70 до M20
и более M20 (A4-50).

Примечание

Материалы для уплотнения (герметизации) не должны содержать асбестовых соединений!

D.8.2.5. Материалы для уплотнения

С учетом DIN EN 1514 «Фланцы и их соединения – размеры, виды и материалы» согласно DIN EN 28091 рекомендуется:

- для диапазона температур от 100 до 200 °C плоские уплотнители из волокносодержащих материалов и/или из графита с прокладкой из нержавеющей стали;
- для диапазона температур свыше 200 °C плоские уплотнители из графита с пленочной прокладкой из нержавеющей стали и/или камерные профильные уплотнители с графитовой прокладкой и центровкой.

D.8.2.6. Материалы для арматуры

С учетом DIN EN 1503 и DIN EN 12516 «Материал арматуры» с дополнительной ссылкой на TRD 110 2 и 3 рекомендуется:

- как в D.8.3.2, только с дополнительными ограничениями для отливки из ферритной и аустенитной стали.

Рис. D.8.2.6-1: Материалы

Материал	Номер материала	Диапазон температур (°C)	Диапазон номинального давления[a)]
Чугун с шаровидным графитом	0.7043	≤ 350	16 – ≤ 40
Ферритная отливка:			
GP 240 GH	1.0619	> 350 – ≤ 400	16 – > 63
G20Mo5	1.5419	> 400 – ≤ 490	16 – > 63
G17CrMo5-5	1.7357	> 490 – ≤ 570	16 – > 63
Аустенитная отливка:			
GX5CrNiTi19-10	1.4308	> 570 – ≤ 600	16 – > 63
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	> 570 – ≤ 600	16 – > 63

Примечание

- Как правило, не рекомендуется применение арматуры с корпусом из серого чугуна (материал № 0.6025).
- Для шпинделей клапанов рекомендуется использование только коррозионностойких материалов.
- Использование арматуры из чугуна с шаровидным графитом, материал № 07043, согласно TRD 108 только для условного диаметра ≤ 150 (DN 175).
- Сертификаты приемочных испытаний согласно DIN EN 10204, при необходимости со ссылкой на TRD 110 6, для:
  * арматуры группы 1 (DN x рабочее избыточное давление в бар ≥ 20000) – сертификат приемочных испытаний тип 3.2;
  * арматуры группы 2 (DN x рабочее избыточное давление в барах < 20000) – сертификат приемочных испытаний тип 3.1.

a) Выбор номинального давления в зависимости от допустимого рабочего давления из-за «падения» зависящего от температуры предела растяжения материала.

D.8.2.7. Сварка, сварные швы и т. п.

Необходимые сварочные работы должны производиться квалифицированными специалистами (сварщиками). Сварщики должны предоставить сертификат сварщика (о сданных экзаменах) согласно DIN EN 287-1.

Для сварочных работ необходимы разрешения AD 2000 HPO и TRD 201, а также свидетельство профпригодности согласно DIN 18800 и квалификационные экзамены согласно DINENISO 15614.

Подготовку кромок под сварку необходимо выполнять в соответствии с DINENISO 9692 с учетом:

- технологии сварки;
- дополнительных материалов для сварки;
- защитных сварочных газов.

Предприятие, выполняющее сварочные работы, должно предоставить:

- список сварщиков и действительные сертификаты сварщиков;
- действующие протоколы проверки технологии сварки (AD 2000 HP2/1; DIN EN ISO 15614);
- сварочные технологические карты.

Испытания на целостность сварных швов производятся с учетом AD 2000, а также TRD 201 для кольцевых, угловых швов и швов патрубков при наличии предварительно заявленного плана сварочных работ.
Согласно DIN EN 473 радиографический и ультразвуковой контроль качества шва должен производиться сертифицированным персоналом.

Примечание

В зависимости от материала и формы шва процент испытаний может составлять 10%, 25% и 100%. Рекомендуется (если не предписано иное) для элементов системы трубопроводов под давлением категорий II и III (согласно директиве 97/23/EG) – минимум 25%, а для аустенитных материалов – 100%.

D.8.3. Расчет систем трубопроводов

Представленная ниже информация касается необходимых расчетов. Однако детальные рассуждения о физических процессах не приводятся.

В отдельных случаях может возникнуть необходимость в точных расчетах (с применением специальных программ расчета).

Основные документы:

- AD 2000 (особый акцент на W4 «Трубы», W7 «Болты, гайки» и W9 «Фланцы», а также HP100R «Системы трубопроводов» и HP512R «Испытания систем трубопроводов»);
- TRD (особый акцент на главах, посвященных материалам, производству, расчету и испытаниям);
- DIN EN 13480, часть 1 – часть 7 (особый акцент на часть 2 «Материалы», часть 3 «Конструкция и расчет», часть 4 «Изготовление» и часть 5 «Испытания»).

D.8.3.1. Расчет внутреннего диаметра трубы

В основе «расчета в первом приближении» лежит полученная опытным путем скорость, на основании которой рассчитываются потери давления и/или температуры. При этом потери не должны превышать установленных границ.

При выборе скорости рекомендуется пользоваться значениями из приведенной ниже таблицы.

Рис. D.8.3.1-1: Ориентировочные значения скорости (W)

Тип трубопровода	Диапазон давления P (бар)	Скорость потока W (м/с)
Паропровод:		
Влажный пар	≤ 10	10- 20
Насыщенный пар	≤ 1 > 1 – ≤ 5 > 5 – ≤ 10 > 10 – ≤ 40 > 40 – ≤ 100	10- 15 15- 25 25- 35 35- 40 40 to ≤ 60
Перегретый пар: как насыщенный пар (см. ниже), но выбирать следует более «высокую» скорость		
Продувочная выпускная линия предохранительного клапана и пусковая линия (также линия отвода газов охладителя стоков)[a)]	атмосферное давление	≤ 70
Трубопровод выпара и отработанного пара, пар вторичного вскипания в конденсатопроводе (открытые системы)	атмосферное давление	10- 25
Магистральные паропроводы	< 40	≤ 20
Трубопровод для воды:		
Конденсатные трубопроводы и системы	самотечный трубопровод	≥ 0,5 – ≤ 1
	напорный трубопровод	≥ 1 – ≤ 3
Трубопровод питательной воды	самотечный трубопровод	≥ 0,5 – ≤ 1
	напорный трубопровод	≥ 2 – ≤ 3,5
Трубопровод котлового щелочного раствора и продувочной массы (без пара вторичного вскипания)		≥ 1 – ≤ 2
Трубопровод котлового щелочного раствора и продувочной массы (с паром вторичного вскипания)	≤ 1 > 1 – ≤ 5	10- 15 15- 20
Трубопровод питьевой и технической (хозяйственной) воды		≥ 1 – ≤ 2
Охлаждающая вода	самотечный трубопровод	≥ 0,5 – ≤ 1,5
	напорный трубопровод	≥ 1,0 – ≤ 3,5
Прочие трубопроводы и каналы:		
Трубопровод сжатого воздуха		≥ 10 – ≤ 20
Трубопровод природного газа	до ≤ 0,05 > 0,05 – ≤ 1 > 1 – ≤ 6	≥ 3 – ≤ 8 ≥ 5 – ≤ 10 > 10 – ≤ 25
Трубопровод жидкого топлива	самотечный трубопровод	≥ 0,2 – ≤ 1
	напорный трубопровод	≥ 0,5 – ≤ 1,5
Каналы воздуха для сжигания топлива	самотечный трубопровод	≥ 8 – ≤ 20
	напорный трубопровод	≥ 15 – ≤ 30
Каналы продуктов сгорания (дымоходы)	присоединительный трубопровод	≥ 8 – ≤ 15

Примечание

С учетом возможных «коротких» длин трубопроводов в помещении паровой котельной установки можно выбрать скорость близкую к верхней границе.

a) Для линии отвода газов охладителя стоков по причине кратковременной нагрузки со стороны периодической продувки скорости могут быть выбраны в соответствии с данными.

* При упоминании о давлении в данном руководстве речь всегда идет исключительно об избыточном давлении, если специально не указано иное.

D.8.3.2. Расход в трубопроводах, расчет внутренних диаметров трубопроводов

Ниже приведены формулы для расчета объемного расхода, массового расхода, скорости и внутренних диаметров трубопроводов.

На основании общего уравнения для объемного потока $\dot{V} = w \times A$, где A – площадь поперечного сечения в м², рассчитываются следующие показатели:

Объемный расход

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{d_i^2 \times \pi}{4} \times w \quad [м^3/с]$$

Массовый расход

$$\dot{m} = \frac{d_i^2 \times \pi}{4} \times \rho \times w = \rho \times \dot{V} \quad [кг/с]$$

Скорость

$$w = \frac{4\dot{V}}{d_i^2 \times \pi} = \frac{4\dot{m}}{d_i^2 \times \pi \times \rho} \quad [м/с]$$

Внутренний диаметр трубы

$$d_i = 2 \times \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \times w}} = 2 \times \sqrt{\frac{\dot{m}}{\pi \times \rho \times w}} \quad [м]$$

где:

w – скорость потока (см. табл. D.8.3.1, рис. D.8.3.1-1),

ρ – плотность рабочей среды (кг/м³) ($\rho = 1/v$),

v – удельный объем рабочей среды в м³/кг с $\rho = 1/v$.

Примечание к 1

Расчет основан на данных таблицы:

$$\dot{V}(м^3) = \dot{V}_{0(нм)} \times \frac{1{,}013}{1{,}013 + p} \times \frac{273 + T}{273} \quad [м^3/ч]$$

$$\rho(кг/м^3) = \rho_{0(кг/нм^3)} \times \frac{273 \times (1{,}013 + p)}{273 + T} \quad [кг/м^3]$$

Рис. D.8.3.2-1: Плотность различных рабочих сред (кг/м³)

Рабочая среда		ρ [T = (15 °C) 20 °C]	ρ [T = 50 °C]	ρ [T = 100 °C]	ρ [T = 0 °C (при нормальных условиях)]
Воздух[1]		1,207	1,095	0,948	1,293
Дымовые газы[1]		1,251	1,135	0,983	1,34
Природный газ[1]	(E)	0,732	--	--	0,784
	(LL)	0,774			0,829
Жидкое топливо[1]	(EL)	(840)	815	--	--
	(S)	(960)	940	910	--

Пример расчета № 1: «Паропроводы»

Исходные данные:

- Производительность парового котла $\dot{m}_{FD}$ = 12 000 кг/ч (насыщенный пар)
- Максимальное допустимое избыточное давление p_B = 13 бар (насыщенный пар)
- Удельный объем пара (из [табл. 2]) v''_B = 0,1414 м³/кг
- Заданная скорость потока (см. D.8.3.1-1) w ≈ 35 м/с

Требуемый внутренний диаметр трубопровода определяется по формуле:

$$d_i = 2 \times \sqrt{\frac{\dot{V}}{\pi \times w}}$$

$$= 2 \times \sqrt{\frac{12\,000\ кг/ч \cdot 0{,}1414\ м^3/кг}{\pi \times 35\ м/с}} \times \frac{1\ ч}{3600\ с} = 0{,}1309\ м$$

- Выбрано: DN 125 согласно DIN EN10216-2

  нормальная толщина стенки s = 4,0 мм

  наружный диаметр da = 139,7 мм

  внутренний диаметр di = 131,7 мм

Максимальная скорость потока w_{vorh} определяется по формуле:

$$w_{vorh} = \frac{4 \times 12\,000\ кг/ч \times 0{,}1414\ м^3/кг \times 1\ ч}{(0{,}1317\ м^2)^2 \times \pi \times 3600\ с}\ [м/с]$$

При этом 34,62 м/с < w

Пример расчета № 2: «Трубопровод природного газа»

Исходные данные по насыщенному пару, как в примере №1, и дополнительно:

- Энтальпия насыщенного пара (из табл. 2) = 0,7744 кВтч/кг
- Энтальпия питательной воды (из табл. 2) (температура питательной воды T_{spw} ≈ 104 °C) = 0,1213 кВтч/кг
- КПД парового котла $\eta_{K(M)}$ с экономайзером тип 200 (на основании технического паспорта котла Vitomax 200-HS) ≈ 94,6%
- Низшая теплота сгорания природного газа H_i = 10,35 кВтч/нм³
- Расход топлива $\dot{B}_B$ (см. D.4.3.1) рассчитывается по формуле:

$$\dot{B}_B \approx \frac{12\,000\ кг/ч \times (0{,}7744\ кВтч/кг - 0{,}1213\ кВтч/кг) \times 100}{10{,}35\ кВтч/нм^3 \cdot 94{,}6\%} \approx 800{,}44\ нм^3/ч$$

- Величина давления природного газа (принимается) ≈ 4,0 бар
- Перерасчет расхода топлива ($\dot{B}_B$) в расход топлива при температуре окружающей среды 20 °C ($\dot{B}^*_B$) осуществляется по формуле:

$$\dot{B}^*_B \approx 800{,}44 \frac{1{,}013}{1{,}013 + 4{,}0} \times \frac{273 + 20}{273} \approx 173{,}59\ м^3/ч$$

- Заданное значение скорости потока (см. рис. D.8.3.1-1) ≈ 17 м/с
- Требуемый внутренний диаметр трубы d_i рассчитывается по формуле:

$$d_i = 2 \times \sqrt{\frac{173{,}59\ м^3/ч}{\pi \times 3600\ с/ч \times 17\ м/с}} = 0{,}0601\ м$$

- Выбрано: DN65 согласно DIN EN 10216-2

  Нормальная толщина стенки s = 2,9 мм

  Наружный диаметр da= 76,1 мм

  Внутренний диаметр di = 70,3 мм

Максимальная скорость потока $w_{vorh.}$ составит:

$$w_{vorh.} = \frac{4 \times 173{,}59\ м^3 \times ч}{0{,}0703^2\ м^2 \times 3600\ с/ч \times \pi} = 12{,}43\ м/с$$

При этом $w_{vorh.} < w_{gewählt}$

D.8.3.3. Потери давления

Общие потери давления в трубопроводе равны сумме потерь давления во всех элементах трубопровода, таких как трубы, фитинги, арматура, изменения поперечного сечения и другие элементы. Как правило, для газообразных сред следует дополнительно учитывать изменения объема потока вследствие расширения. Однако для приведенных ниже расчетов этим пренебрегают в связи с незначительным влиянием на конечный результат. Таким образом, расчет потерь давления для жидкостей и газов идентичен.

Если трубопровод состоит из нескольких участков с разными диаметрами (изменение поперечного сечения), необходимо определять потери давления отдельно для каждого участка трубопровода.

Согласно L8 и L9 определяются суммарные потери давления:

$$\Delta p_{ges} = \frac{\rho}{2} \times w^2 \left(\lambda_R \frac{L}{d_i} + \Sigma \zeta_E \right) \times \frac{1}{10^5} [\text{бар}]$$

где:

$\Sigma \zeta_E$ – сумма местных сопротивлений[a], безразмерная величина (см. [Tb4] и/или L5/L9),

L – длина трубопровода (м),

di – внутренний диаметр (м),

ρ =1/V – плотность рабочей среды (см. D.8.3.2) (кг/м³),

w – заданная и/или требуемая скорость потока (см. D.8.3.1 и/или D.8.3.2) (м/с),

λ_R – коэффициент трения трубопровода, безразмерная величина, определяется в зависимости от режима движения рабочей среды (ламинарного и/или турбулентного). Режим движения рабочей среды связан с безразмерной величиной (R_e), так называемым числом Рейнольдса, которое определяется по формуле:

$$R_e = \frac{w \times d_i(d_{gl})}{v} = \frac{\rho \times w \times di}{\eta} [-]$$

где:

v – кинематическая вязкость среды (м²/с) и/или

η – динамическая вязкость, рассчитывается по формуле:

$$\eta = v \times \rho \text{ в } \left[\frac{\text{кг}}{\text{м} \times \text{с}} = \text{Па} \times \text{с} = \frac{\text{нс}}{\text{м}^2} \right]$$

(см. таблицу ниже с перечнем видов сред),

di – внутренний диаметр трубы (м) и/или

dgl – эквивалентный диаметр поперечного сечения трубопровода (м) (см. D.3.4-B).

Таким образом, коэффициент трения λ_R определяется по формуле:

$R_e \leq 2300$

λ_R[b] $= 64 / R_e$ [-]

«гладкая» труба для Re ≤ 105

$$\lambda_R^{b)} = \frac{0{,}316}{\sqrt[4]{R_e}} [-]$$

«гладкая» труба для 105 ≤ Re ≤ 108

$$\lambda_R^{b)} = 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{R_e^{0{,}237}} [-]$$

для «абсолютно шероховатой трубы»

$$\lambda_R^{c)} = \frac{1}{(2 \lg \times \frac{k_R}{di} - 1{,}14)^2} [-]$$

[a] Здесь следует дополнительно учитывать данные от производителя арматуры,

[b] λ_R - зависит только от числа Рейнольдса R_e,

[c] λ_R - зависит только от относительной шероховатости - k_R/d_i.

Рис. D.8.3.3-1: Шероховатость стенки трубы

Состояние материала	Стальные трубы (новые)	Стальные трубы (покрытые ржавчиной)	Чугунные трубы (новые)	Чугунные трубы (покрытые ржавчиной)	Бетон (гладкий)	Бетон (шероховатый)	Каналы из листового металла (фальцованные)	Трубы из поливинилхлорида и полиэтилена
k_R (мм)	0,04- 0,1	0,4- 0,6	0,5- 1,0	1,0- 1,5	0,3- 0,8	1,0- 3,0	0,15	0,007

См. также данные в разделе G (табл. 3).

Рекомендации

1. С помощью диаграммы в разделе G (табл. 3.1) можно определить значение λ_R в зависимости от значения числа Рейнольдса и отношения di/k_R.

2. Для приблизительных расчетов можно принять λ_R равным 0,02 – 0,04.

Также можно дополнительно воспользоваться диаграммами табл. 4; 4.1.8. для определения потерь давления в прямом трубопроводе для пара и воды.

[d] В диаграмме раздела G (табл. 4.0) принято λ_R = 0,0206, т. е. заложен соответствующий запас, в отличие от приведенных расчетов.

Кинематическая вязкость для некоторых рабочих сред (L9, L11).

Рис. D.8.3.3-2: Насыщенный пар

t_s (°C)	100	120	150	180	200	230	250	280	300
v (м²/с) · 10^{-6}	20,013	11,463	5,469	2,929	2,033	1,241	0,913	0,6	0,461

Примечание для перегретого пара: см. график (здесь же можно с достаточной точностью также выбрать значения для насыщенного пара).

Рис. D.8.3.3-3: Перегретый пар

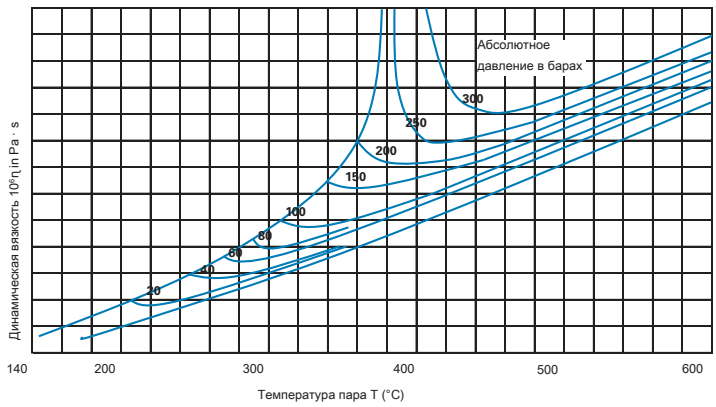


Рис. D.8.3.3-4: Жидкое топливо – воздух – вода – продукты сгорания

T (°C)	20	50	100
Жидкое топливо	v (м²/с) x 10^{-6}	v (м²/с) x 10^{-6}	v (м²/с) x 10^{-6}
Жидкое топливо (S)	1520	300	30
Жидкое топливо (EL)	5,0	2,6	/
Воздух[a]			
При 1,012 бар абс.	15,11	17,94	23,06
При 5 бар абс.	3,105	3,657	4,712
Вода	1,004	0,553	0,295
Продукты сгорания[b]			
T_{ABG} (°C)	100	200	300	400
v (м²/с) x 10^{-6}	20	32	46	59

a) Приблизительно так же для природного газа.

b) (источник Weishaupt) При сжигании жидкого топлива с коэффициентом избытка воздуха 1,1 – 1,2.

Пример расчета №1:
Потери давления в паропроводе (Δp_R)

Исходные данные, как в D.8.3.2. (в дополнение к предыдущему примеру расчета), и дополнительно:

- Плотность пара рассчитывается по формуле:

$$\rho'' = \frac{1}{v''} = \frac{1\ кг}{0{,}1414\ м^3} = 7{,}072\ кг/м^3$$

Внутренний диаметр трубопровода $d_i = 0{,}1317$ м

Скорость потока $w_{vorh.} = 34{,}62$ м/с

Длина трубопровода (принимается) L = 20 м

Температура насыщенного пара (Ts из табл. 2) ≈ 195 °C

Вязкость при Ts (приближенно) ≈ 2,257 · 10-6 м²/с

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$R_e = \frac{34{,}62\ м/с \times 0{,}1317\ м}{2{,}257 \times 10^{-6}\ м^2/с} = 2{,}02 \times 10^6 > 10^5\ [-]$$

Коэффициент сопротивления для «гладкой трубы»

$$\lambda_R = 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{(2{,}02 \cdot 10^6)^{0{,}237}}$$

$$= 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{31{,}215} = 0{,}0103 \quad [-]$$

На основании чего определяется:

$$\Delta p_R = \frac{7{,}072\ кг/м^3}{2} \times (34{,}62\ м/с)^2 \times \left(0{,}0103 \times \frac{20\ м}{0{,}1317\ м}\right) \times \frac{1}{10^5}$$

= 0,0663 бар или 0,003315 бар/м

Исходя из практического опыта потери давления Δp_R можно принять равными 0,003 бар/м трубопровода.

Пример расчета №2: Потери давления во всасывающем трубопроводе питательной воды ($\Delta p_{R/S}$)

Исходные данные для всасывающего трубопровода:

Подача питательной воды $\dot{m}spw$ = 12 000 кг/ч

Температура питательной воды Tspw = 104 °C

Плотность питательной воды (согласно табл. 2) ρspw = 955 кг/м³

Скорость потока (ориентировочные значения в табл. D.8.3.1) w = 1,0 м/с

Длина трубопровода (принято) L = 1 м

Требуемый внутренний диаметр трубопровода рассчитывается по формуле:

$$d_{i\,erf} = 2 \times \sqrt{\frac{12\,000\ кг/ч \times с \times ч}{\pi \times 955\ кг/м^3 \times 1\ м \times 3600\ с}} = 0{,}0668\ м$$

Выбрано: DN65 согласно DIN EN 10216-2

Нормальная толщина стенки s = 2,9 мм

Наружный диаметр da = 76,1 мм

Внутренний диаметр di = 70,3 мм

Таким образом, скорость потока составит:

$$w_{vorh} = \frac{4 \times 12\,000\ кг/ч \times ч}{0{,}0703^2\ м^2 \times 3{,}14 \times 955\ кг/м^3 \times 3600\ с} = 0{,}89\ м/с$$

Вязкость при температуре питательной воды Tspw ≈ 0,295 x 10-6 м²/c

Число Рейнольдса равно:

$$R_e = \frac{0{,}89\ м/с \times 0{,}0703\ м}{0{,}295\ м^2/с \times 10^{-6}} = 2{,}21 \times 10^5 > 10^5\,[-]$$

Коэффициент трения для «гладкой трубы»:

$$\lambda_R = 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{(2{,}12 \times 10^5)^{0{,}237}}$$

$$= 0{,}0032 + \frac{0{,}221}{18{,}29} = 0{,}0153\,[-]$$

$$\Delta p_{R/S} = \frac{922}{2} \times 0{,}89^2 \times \left(0{,}0153 \times \frac{1}{0{,}0703} \right) \times \frac{1}{10^5}$$

= 0,000823 бар/м

и

$$\Delta p_{R/S} = \frac{0{,}000823 \times бар \times мм\ вод.ст.}{9{,}81 \times 10^{-5} \times бар \times м} = 8{,}39\ мм\ вод.\ ст./м.$$

Продолжение расчета №2: Потери давления во всасывающем трубопроводе питательной воды ($\Delta p_{R/S}$)

Исходя из практического опыта, принимают потери давления $\Delta p_{R/S}$ в диапазоне от 10 to 20 мм вод. ст. на погонный метр трубопровода.

Исходные данные:

Общая длина трубопровода L = 5 м

Сопротивление фильтра (1 шт.) (чистого) $\zeta_F \approx 3{,}0$

Сопротивление арматуры (2 шт.) (2x) $\zeta_A \approx 2 \times 3{,}7 = 7{,}4$

Сопротивление колена 90° (3 шт.) $\zeta_B \approx 3 \times 0{,}2 = 0{,}6$

Общее сопротивление составит:
$\Sigma\zeta_E = 3{,}0 + 7{,}4 + 0{,}6 = 11$

Таким образом, общие потери давления в трубопроводе составят:

$$\Delta p_{ges/s} = 0{,}000823\ бар/м \times 5\ м + 11 \times \frac{955\ кг/м^3}{2} \times (0{,}89\ м/с)^2 \times \frac{1}{10^5}$$

= 0,004115 + 0,0416 = 0,04572 бар

и

$$\Delta p_{ges/s} = \frac{0{,}04572 \times бар \times мм\ вод.ст.}{9{,}81 \times 10^{-5} \times бар} = 466\ мм\ вод.ст.$$

Примечание

Принимая во внимание информацию из раздела D.6.1, рекомендуется определять параметры всасывающего трубопровода с учетом потерь давления: $\Delta p_{ges/s} \leq 500$ мм вод. ст.

D.8.3.4. Потери теплоты и падение температуры

Тепловые потери возникают вследствие теплопроводности, конвекции и излучения. Одновременно имеют место два или даже все три вида теплопередачи.
Теплопроводность, конвекция и излучение представляют собой различные виды теплопередачи и подчиняются различным физическим законам, на которых данное руководство подробно не останавливается.
Задача тепловой изоляции заключается в минимизации тепловых потерь.
С учетом стандартов и директив тепловая изоляция должна обеспечить теплопотери ≤ 100 Вт с 1 м² поверхности при среднем коэффициенте теплопроводности теплоизоляционного слоя (см. D.8.3.4-1).

Рис. D.8.3.4-1: Коэффициент теплопроводности

Средняя температура °C	50	100	150	200	250	350
Коэффициент теплопроводности (Вт/мК) (оболочки из минерального волокна)	0,04	0,045	0,055	0,065	0,075	0,09
Коэффициент теплопроводности (Вт/мК) (маты из минерального волокна)	0,035	0,039	0,046	0,055	0,066	0,081

При «нормальном» движении воздуха (подвижность менее 5 м/с) рекомендуется поддержание температуры на наружной поверхности металлической оболочки не более чем на 20 K выше температуры окружающей среды.

Основные документы:
- DIN 4102-T1 «Класс строительных материалов A1»;
- DIN 4140 – изоляционные работы (промышленное и бытовое оборудование), исполнение тепло- и холодильной изоляции;
- Технические паспорта AGI;
- Директива VDI 2055 «Тепловая изоляция теплового и холодильного промышленного и бытового оборудования»;
- Постановление EnEV «Об экономии энергии» (минимальные требования согласно параграфу 12).

В таблицах (см. приложение A2) приведены ориентировочные значения для тепловой изоляции трубопроводов и контактной защиты (защиты ожога).

Если условия того требуют, толщина изоляции определяется расчетным путем независимо от экономического обоснования.

Рекомендации
A) Контактная защита (защита от ожога).
Контактная защита рекомендуется тогда, когда при нормальной рабочей температуре температура поверхности объектов периодически превышает 60 °C (например, продувочные (выпускные) трубопроводы и объекты с предназначенными для ревизии поверхностями (платформами, переходными мостками и т. п.)).
В отдельных случаях вместо тепловой изоляции можно предусмотреть облицовку перфорированным листом (без теплоизоляционного материала) (например, дренажных, вентиляционных систем и доступные элементы котла и т. п.).

B) Защита от снижения температуры или изоляция для предотвращения образования конденсата.
В данном случае расчет изоляции осуществляется с учетом предотвращения образования конденсата при «холодном пуске» (например, трубопроводы необработанной и умягченной воды). Также необходимо учитывать конкретные условия на объекте. Ориентировочные значения можно принять из таблицы ниже (приложение L10, рис. D.8.3.4-3).

C) Гидроизоляция.
Изоляционные материалы должны быть защищены от попадания влаги (например, от проникания дождевой воды). Изоляционные материалы должны храниться и монтироваться в абсолютно сухом состоянии. Повторное применение «промокшего» изоляционного материала не рекомендуется.
Для трубопроводов, проложенных надземно (под открытым небом) (например, магистральные трубопроводы), рекомендуется дополнительный контроль состояния.

D) Теплопотери и падение температуры в трубопроводах при транспортировании теплоносителя.
С учетом [L5] и [L10] потери теплоты

можно упрощенно рассчитать по формуле:

Потеря теплоты

$$\dot{Q}_{V/R} = \frac{\pi \times (T_M - T_U) \times L_R}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_a}{D_i} + \frac{1}{\alpha_a \times D_a}} \quad [Вт]$$

где:

- температура рабочей среды - T_M [°C]
- температура окружающей среды - T_U [°C]
- коэффициент теплопроводности (с учетом T_M) - λ [Вт/мК]
- наружный и внутренний диаметр тепловой изоляции - D_a/D_i [м]
- коэффициент теплоотдачи от теплоизолированной поверхности - α_a [Вт/м²K]

Значения приведены в таблице:

Рис. D.8.3.4-2: Коэффициент теплоотдачи

Вертикальные трубопроводы в зданиях	$\alpha_a \approx 5{,}6$ Вт/м²K
Горизонтальные трубопроводы в зданиях при $D_a \leq 1000$ мм	$\alpha_a \approx 3{,}5 – 5{,}6$ Вт/м²K
Трубопроводы под открытым небом при $D_a \leq 700$ мм	$\alpha_a \approx 20 – 40$ Вт/м²K

Падение температуры (ΔT_M) зависит от расхода протекающей в трубопроводе рабочей среды:

$$\dot{Q}_{V/R} = \dot{m}_M \times c_{pM} \times \Delta T_M \ (Вт)$$

таким образом, перепад температур равен:

$$\Delta T_M = \dot{Q}_{V/R} / (\dot{m}_M \times c_{pM})$$

где:

- $Q_{V/R}$ – потери теплоты (Вт и/или Вт/м);
- m_M – массовый расход рабочей среды (кг/с);
- c_{pM} – удельная теплоемкость рабочей среды при постоянном давлении (Вт·с/кгK):
  $c_{pWasser}$ для воды ≈ 4200 Вт·с/кгK,
  c_{pDampf} для пара – см. данные диаграммы для насыщенного пара [табл. 2], диаграммы для перегретого пара [табл. 2.3].

Пример расчета

Исходные данные из примера расчета №1 (D.8.3.2):

- Паропроизводительность котла $\dot{m}_M = 12\,000$ кг/ч ≙ 3,33 кг/с
- Температура пара $T_M = 195$ °C
- Температура окружающей среды T_U (задано) = 20 °C
- Длина трубопровода L_R (задано) = 1 м
- Внутренний диаметр изоляции $D_i = 139{,}7$ мм (равен наружному диаметру трубопровода)
- Наружный диаметр изоляции $D_a = 279{,}7$ мм (принимается в соответствии с выбранной толщиной изоляции 70 мм согласно A5)
- Коэффициент теплопроводности изоляционного материала $\lambda \approx 0{,}055$ Вт/мK (маты из минерального волокна)
- Коэффициент теплоотдачи $\alpha a \approx 3{,}5$ Вт/м² K (принято)

$$\dot{Q}_{V/R} \approx \frac{\pi \times (T_M - T_U) \times L_R}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_a}{D_i} + \frac{1}{\alpha_a \times D_a}}$$

$$= \frac{\pi \times (195 - 20) \times 1}{\frac{1}{2 \times 0{,}055} \ln \frac{0{,}2797}{0{,}1397} + \frac{1}{3{,}5 \times 0{,}2797}} = 74{,}94 \text{ Вт/м}$$

На 1 м² поверхности это составит:

$\dot{Q}_{V/R} \approx 74{,}94$ Вт/м x 1/(0,2797 x 3,14 x м/м²)
$\approx 85{,}33$ Вт/м²

С учетом удельной теплоемкости (c_{pM} - для пара из [табл. 2]) ≈ 2939 Втс/кгK

Можно рассчитать:

$\Delta T_M = \dot{Q}_{V/R} / (\dot{m}_M \times c_{pM})$
$= 74{,}94/(3{,}33 \times 2\,939)$ Вт/м кг K с / (Вт с кг м)
$= 0{,}00766$ K/м

Примечание

Следует исходить из того, что фланцы и арматура теплоизолированы и поэтому могут рассматриваться как сплошной трубопровод. Потери теплоты, вызванные опорами трубопроводов, необходимо учитывать как дополнительные 15% теплопотерь (для прокладки трубопроводов в помещении) и 25% теплопотерь (для трубопроводов под открытым небом). Исключение составляет электронная и исполнительная арматура, которая из-за чувствительности не изолируется (например, прибор для измерения расхода пара).

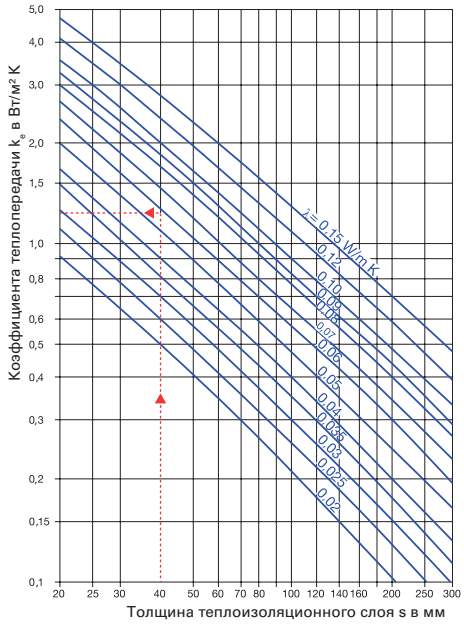
Рис. D.8.3.4-3: Толщина тепловой изоляции в зависимости от влажности воздуха

Температура воздуха (°C):		20	25	30	35
Температура точки росы (°C):					
При влажности воздуха:	80%	16,5	21,4	26,3	31,0
	85%	17,5	22,4	27,3	32,2
	90%	18,5	23,5	28,4	33,3
Экономичная толщина изоляционного слоя (в мм):	В помещении	40	65	90	110
	Вне помещения	10	20	25	30

Примечание

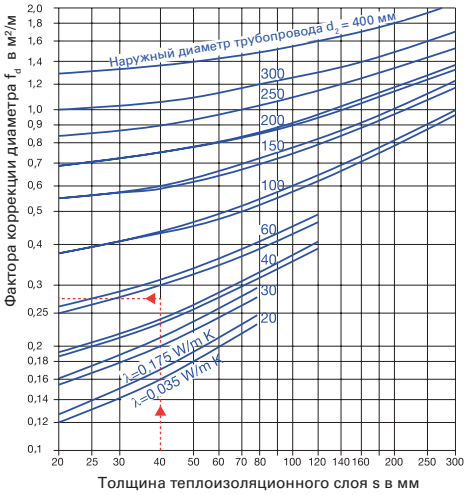
- Фланцы и опоры трубопроводов вызывают дополнительные потери теплоты. Изолированные фланцы рассматриваются как сплошные трубопроводы. Для изолированных фланцев с фланцевыми колпачками следует добавлять дополнительно 1 м к длине трубопровода. Опоры трубопроводов увеличивают потери теплоты для трубопроводов, проложенных в помещениях, на 15%, под открытым небом – на 25%.
- Детальный расчет см. в VDI 2055.
- Практиков удовлетворит расчет в D.8.3.4.

Рис. D.8.3.4-4: Диаграмма для определения коэффициента теплопередачи k_e



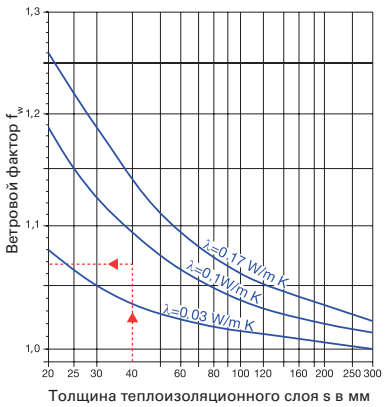
(источник: GESTRA)

Рис. D.8.3.4-5: Диаграмма для определения фактора коррекции диаметра f_d



(источник: GESTRA)

Рис. D.8.3.4-6: Диаграмма для определения ветрового фактора f_w



(источник: GESTRA)

λ – коэффициент теплопроводности в зависимости от выбранного теплоизоляционного материала (см. также табл. 8.3.4-1).

E) **Теплопотери и падение температуры в трубопроводах для транспортирования теплоты (в тепловых сетях)**

С помощью эмпирических формул и диаграмм (источник: Gestra) и приведенных ниже примеров расчета можно определить:

- теплопотери ($\dot{Q}_i$) для 1 м длины трубопровода, проложенного в помещении: $\dot{Q}_i = k_e \times f_d \times (T_M - T_U)$ в [Вт/м];
- теплопотери (Q_f) для 1 м длины трубопровода, проложенного под открытым небом: $\dot{Q}_f = k_e \times f_d \times f_w \times (T_M - T_U)$ в [Вт/м];

где:

температура рабочей среды – T_M (°C)
температура окружающей среды – T_U (°C)
См. рис. D.8.3.4-4 – D.8.3.4-6 для определения:
коэффициента теплопередачи k_e (Вт/м² K) для плоской стенки,
фактора коррекции диаметра f_d (м²/м),
ветрового фактора f_w.

Пример расчета № 1

Исходные данные:

- толщина теплоизоляционного слоя s = 40 мм
- коэффициент теплопроводности изоляционного материала λ = 0,058 Вт/м K
- наружный диаметр трубопровода da = 48,3 мм
- температура рабочей среды T_M = 160 °C
- температура окружающей среды T_U = 20 °C
- коэффициента теплопередачи

ke = 1,25 Вт/м² K

fd = 0,27 м²/м

fw = 1,068

Таким образом, теплопотери Q_i для 1 м длины трубопровода, проложенного в помещении, равны:

$\dot{Q}_i = k_e \times f_d \times (T_M - T_U)$
= 1,25 Вт/м² K x 0,27 м²/м x (160 - 20) °C
= 47,3 Вт/м

а теплопотери Q_f для 1 м длины трубопровода, проложенного под открытым небом:

$\dot{Q}_f = k_e \times f_d \times f_w \times (T_M - T_U)$
= 1,25 Вт/м² K x 0,27 м²/м x 1,068 x (160 - 20) °C
= 50,5 Вт/м

Что касается трубопроводов для транспортирования воды, то в общем случае верно равенство:
$\Delta T_M = \dot{Q}_{i(f)} / (c_{pw} \times \dot{m}_w)$ [K/м]

где:
- теплопотери $\dot{Q}_i$ и/или $\dot{Q}_f$ [Вт/м] – см. пример расчета № 1 в разделе E,
- удельная теплоемкость (Втс/кгK) $c_{pWasser} \approx 4200$ Втс/кгK,
- массовый расход воды $\dot{m}_W$ [кг/с].

Перепад температур (ΔT_D) ів паропроводах: см. ниже (для воды), дополнительно рис. D.8.3.4-5.

Пример расчета № 2

Температура пара = 220 °C

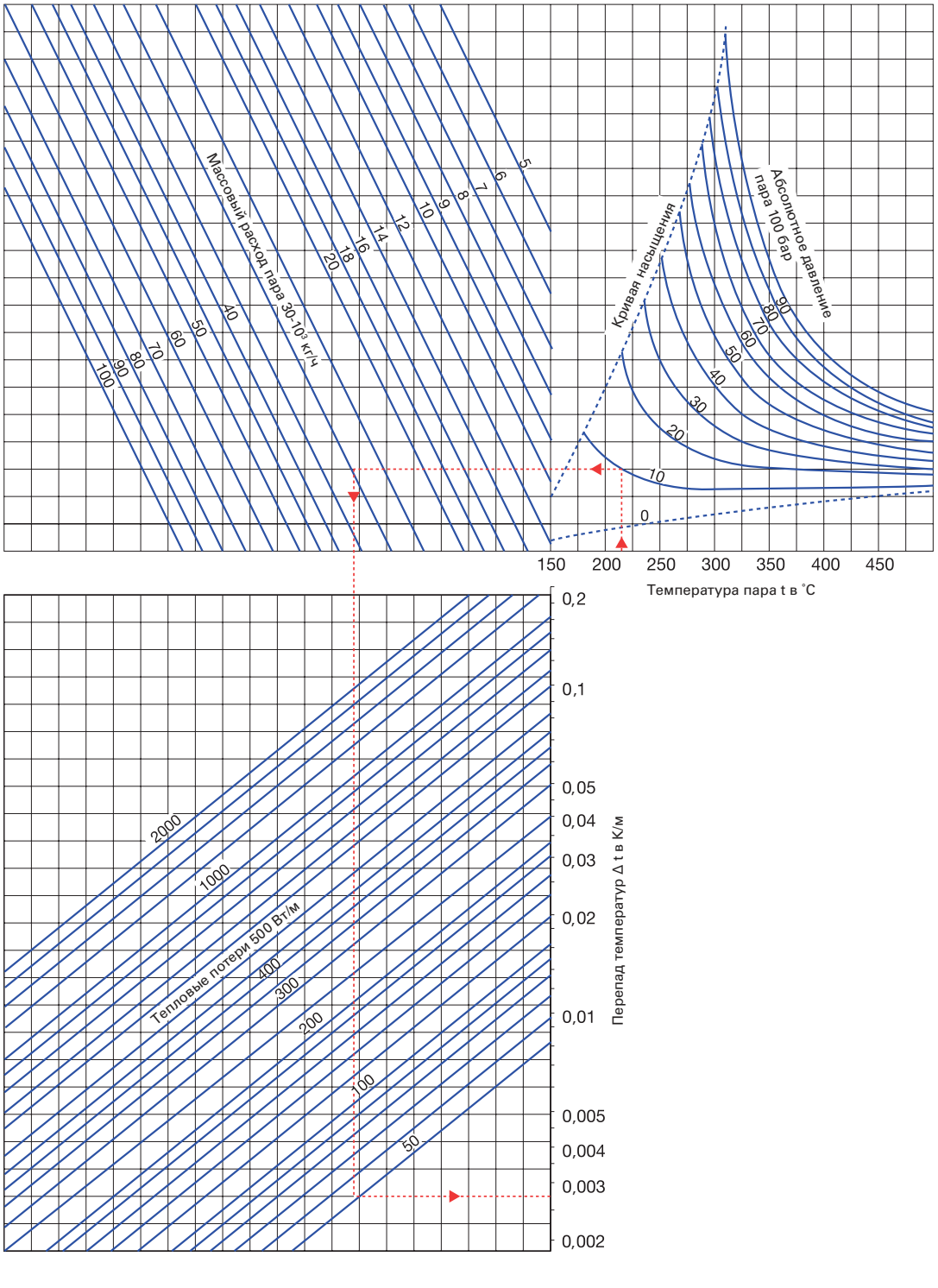
Давление пара = 10 бар (абс)

Массовый расход пара = 30 x 10^3 кг/ч

Теплопотери $\dot{Q}_f$
(см. пример расчета №1) = 50,5 Вт/м

Результат с учетом рис. D.8.3.4-5
$\Delta T_D \approx 0{,}0028$ K/м

Рис. D.8.3.4-5: Диаграмма для определения падения температуры в зависимости от: температуры, давления и массового расхода пара



(источник: GESTRA)

D.8.4. Прочность – температурное удлинение – расчетные пролеты между опорами – допустимые расстояния – прокладка трубопроводов

Движущийся в трубопроводе теплоноситель оказывает давление на стенки трубы. В дополнение к этому в трубопроводах для транспортирования теплоты возникают тепловые напряжения, обусловленные перепадом температур в стенке трубы. При пуске и прекращении подачи теплоносителя, особенно для толстостенных труб, перепад температур оказывает более значительное влияние.

Другие нагрузки возникают из-за ограничения температурных удлинений трубопроводов между неподвижными опорами и провисания трубопровода между отдельными подвижными опорами.

A) Прочность

С целью обеспечения достаточной толщины стенки трубы, следует производить расчет трубопровода в соответствии с нормативными документами и условиями эксплуатации (статические нагрузки до 120 °C и/или > 120 °C, а также изменение нагрузки). Выбранная толщина стенки трубопровода $s_{gewählt}$ должна удовлетворять условию: $s_{gewählt} \geq S_V + C_1 + C_2$.

где:

- S_V – расчетная толщина стенки,
- C_1 – запас на уменьшение толщины стенки,
- C_2 – запас на коррозию и износ.

B) Температурное удлинение

Трубопроводы для транспортирования теплоносителя в процессе эксплуатации подвержены температурному удлинению (ΔL).

Температурное удлинение определяется по формуле: $\Delta L = Lo \times \alpha \times \Delta T$ [мм], где:

- Lo – прямой участок трубопровода между двумя неподвижными опорами (м),
- α – коэффициент температурного удлинения для трубных сталей $\alpha \approx 12 \times 10^{-6}$ (м/мК),
- ΔT – повышение температуры [K], например:
  $\Delta T = (120\ °C - 20\ °C) = 100\ K$
  $Lo = 1$ м
  $\Delta L = 1\ м \times 12 \times 10^{-6}\ м/мК \times 100\ K$
  $= 1{,}2 \times 10^{-3}$ м = 1,2 мм/м.

Во избежание недопустимо высоких напряжений в неподвижных опорах необходимо предусмотреть соответствующую компенсацию температурных удлинений. С помощью предварительного напряжения трубопровода также возможна компенсация возникающих в процессе эксплуатации напряжений. Там, где это не представляется возможным, применяют соответствующие компенсаторы температурного удлинения: сильфонные, линзовые и другие осевые компенсаторы, а также углы поворота трассы (Г, П, S- образные компенсаторы).

Точное определение возникающих усилий (реакций) в соответствующих неподвижных опорах трубопровода произвести сложно, поэтому рекомендуется применение соответствующих программ расчета, например, ROHR-2.

Расчет допустимых реакций неподвижных опор (боковых усилий) и изгибающих моментов осуществляется на основе и с учетом соответствующих данных от производителя.

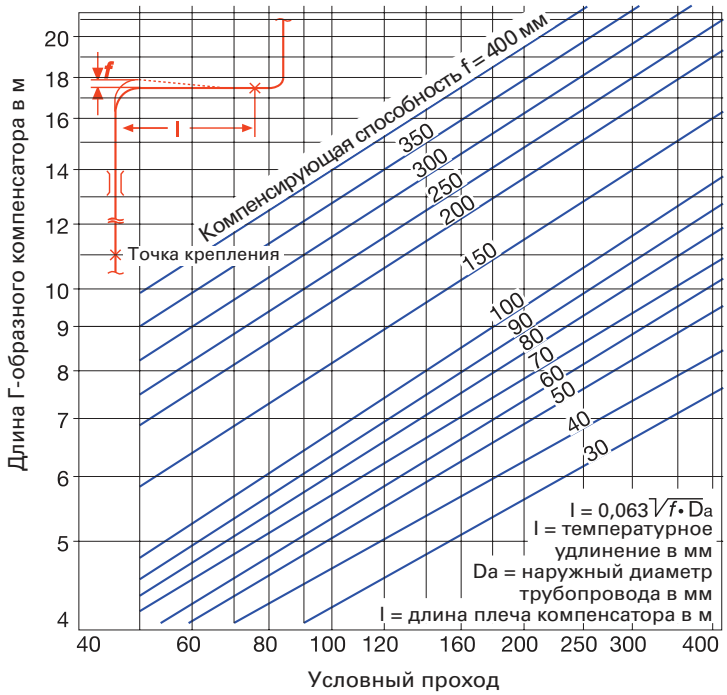
Прежде всего это касается:

- арматуры и патрубков парового котла (Примечание: здесь требуется «безнагрузочное» подключение от VIESSMANN);
- арматуры и патрубков насосов;
- арматуры и патрубков теплового оборудования.

Уже на начальном этапе проектирования отдельных компонентов котельной установки необходимо заблаговременно предусмотреть применение «естественных» углов поворота (отводов) систем трубопроводов с целью компенсации температурных удлинений.

Хороший результат дает использование так называемых «Г-образных компенсаторов» (см. диаграмму для труб в DIN EN 10220). Г-образные и П-образные компенсаторы изготавливаются из того же материала, что и трубопровод. Для Г-образных и П-образных компенсаторов в процессе монтажа предусматривается предварительное напряжение на 50% от ожидаемого температурного удлинения (ΔL).

Рис. D.8.4-1: Диаграмма температурного удлинения Г-образных компенсаторов



C) Расчетные пролеты между опорами

Благодаря определению расчетных пролетов между подвижными опорами трубопроводов ограничивается влияние силы инерции (равномерно распределенная нагрузка через изоляцию, вес трубы и теплоносителя) до уровня допустимого изгиба или допустимого напряжения. Допуски считаются верными, если расчетные пролеты для стального трубопровода принимаются в соответствии с AD 2000 – Техническим паспортом HP100R.

Рис. D.8.4-2: Выборка: Допустимые расчетные пролеты (м) между подвижными опорами для стальных трубопроводов

Условный проход	DN 25		DN 40		DN 50		DN 80		DN 100		DN 150	
Толщина стенки трубопровода (s в мм)	2,0	4,0	2,0	4,0	2,0	4,5	2,3	5,6	2,6	6,3	2,6	7,1
Допустимые расчетные пролеты, L1 в м												
Трубопровод без теплоносителя (без изоляции)	2,9	2,9	3,5	3,5	4,5	4,4	5,5	5,4	6,3	6,2	7,6	7,5
Трубопровод, заполненный водой (без изоляции)	2,7	2,8	3,1	3,3	3,9	4,1	4,6	5,0	5,1	5,6	5,8	6,6
Трубопровод, заполненный водой (изолированный) Dd[a] 40	2,0	2,2	2,5	2,3	3,2	3,6	4,0	4,5	4,6	5,2	5,4	6,3
Трубопровод, заполненный водой (изолированный) Dd[a] 80	1,8	2,0	2,8	3,2	2,9	3,3	3,7	4,3	4,4	5,0	5,2	6,1

Рис. D.8.4-3: Выборка: Допустимые расчетные пролеты (м) между подвижными опорами для стальных трубопроводов

Условный проход	DN 200		DN 250		DN 300		DN 350		DN 400		DN 500	
Толщина стенки трубопровода (s в мм)	2,9	7,1	2,9	7,1	2,9	8,0	3,2	8,8	3,2	10,0	4,0	11,0
Допустимые расчетные пролеты, L1 в м												
Трубопровод без теплоносителя (без изоляции)	8,7	8,7	9,7	9,7	10,6	10,6	11,1	11,1	11,9	11,8	13,3	13,2
Трубопровод, заполненный водой (без изоляции)	6,5	7,4	6,9	8,0	7,3	8,7	7,7	9,1	8,0	9,7	8,9	10,7
Трубопровод, заполненный водой (изолированный) Dd[a] 40	6,1	7,1	6,6	7,7	7,0	8,4	7,4	8,8	7,7	9,5	8,7	10,5
Трубопровод, заполненный водой (изолированный) Dd[a] 80	5,9	6,9	6,5	7,6	6,9	8,3	7,3	8,7	7,6	9,4	8,6	10,4

[a] Dd – толщина изоляции (м, мм).

Рис. D.8.4-4: a) Расчетный пролет между подвижными опорами (b) в м для труб из поливинилхлорида, жесткого поливинилхлорида при температуре до 20 °C (источник: Gestra)

Условный проход	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 200
Расчетный пролет (м)	1,0	1,1	1,25	1,4	1,5	1,65	1,85	2,15	2,6

Для стальных труб (источник: Mannesmann)
с допустимым прогибом (5 мм)
и допустимым напряжением (σ_{zul} = 40 н/мм²).

Рис. D.8.4-5: b) Расчетный пролет между подвижными опорами в м для бесшовных труб (d x s), заполненных водой, с толщиной изоляции (Dd)

d мм	s мм	q_M кг/м	Dd = 0 мм	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм	300 мм
60,3	2,9	6,4	4,1	3,4	3,0	2,8	2,4	2,1	1,9
63,5	2,9	6,9	4,2	3,5	3,1	2,9	2,5	2,2	1,9
70,0	2,9	8,0	4,3	3,7	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1
76,1	3,2	9,6	4,5	3,9	3,6	3,3	3,0	2,7	2,4
88,9	3,2	12,1	4,8	4,2	3,9	3,6	3,4	3,0	2,7
101,6	3,6	15,7	5,1	4,6	4,3	4,0	3,8	3,6	3,2
108,0	3,6	17,2	5,3	4,7	4,4	4,1	3,9	3,7	3,4
114,3	3,6	18,8	5,4	4,8	4,6	4,3	4,0	3,8	3,5
127,0	4,0	23,3	5,7	5,2	4,9	4,6	4,4	4,2	4,0
133,0	4,0	25,0	5,8	5,3	5,0	4,7	4,5	4,3	4,1
139,7	4,0	27,0	5,9	5,4	5,1	4,9	4,6	4,4	4,2
159,0	4,5	34,8	6,3	5,8	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7
168,3	4,5	38,1	6,4	6,0	5,7	5,5	5,3	5,0	4,9
193,7	5,6	52,1	6,9	6,5	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5
219,1	6,3	66,6	7,4	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0
244,5	6,3	79,2	7,7	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4
273,0	6,3	94,7	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7
323,9	7,1	130,8	8,6	8,3	8,2	8,0	7,8	7,7	7,5
355,6	8,0	159,2	9,1	8,8	8,7	8,5	8,3	8,2	8,0
406,4	8,8	205,0	9,7	9,4	9,3	9,1	9,0	8,8	8,7
457,0	10,0	260,2	10,3	10	9,9	9,8	9,6	9,5	9,3
508,0	11,0	320,3	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,1	9,9
610,0	12,5	453,0	11,7	11,5	11,4	11,3	11,2	11,1	11,0

Рис. D.8.4-6: c) Расчетный пролет между подвижными опорами в м для сварных труб (d x s), заполненных водой, с толщиной изоляции (Dd)

d мм	s мм	q_M кг/м	Dd = 0 мм	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм	300 мм
60,3	2,9	6,4	4,1	3,4	3,0	2,8	2,4	2,1	1,9
63,5	2,9	6,9	4,2	3,5	3,1	2,9	2,5	2,2	1,9
70,0	2,9	8,0	4,3	3,7	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1
76,1	2,9	9,1	4,5	3,8	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3
88,9	2,9	11,6	4,8	4,1	3,8	3,6	3,3	2,9	2,6
101,6	2,9	14,3	5,0	4,4	4,1	3,8	3,6	3,3	2,9
108,0	2,9	15,7	5,1	4,6	4,3	4,0	3,8	3,4	3,1
114,3	2,9	17,2	5,2	4,7	4,4	4,1	3,9	3,6	3,2
127,0	3,2	21,2	5,5	5,0	4,7	4,4	4,2	4,0	3,6
133,0	3,2	22,8	5,6	5,1	4,8	4,6	4,3	4,1	3,8
139,7	3,2	24,7	5,7	5,2	4,9	4,7	4,4	4,2	3,9
159,0	3,2	30,6	6,0	5,5	5,2	5,0	4,8	4,6	4,3
168,3	3,6	35,0	6,2	5,7	5,5	5,3	5,0	4,8	4,6
193,7	3,6	44,2	6,5	6,1	5,9	5,6	5,4	5,2	5,0
219,1	4,0	56,2	6,9	6,5	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5
244,5	4,0	67,7	7,2	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8
273,0	4,0	81,7	7,4	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2
323,9	4,0	109,9	7,9	7,5	7,4	7,2	7,0	6,9	6,7
355,6	4,0	129,6	8,1	7,8	7,6	7,5	7,3	7,2	7,0
406,4	5,0	172,9	8,8	8,5	8,4	8,2	8,1	7,9	7,8
457,0	5,0	212,7	9,2	8,9	8,7	8,6	8,5	8,3	8,2
508,0	5,0	256,8	9,5	9,2	9,1	9,0	8,8	8,7	8,6
559,0	6,0	316,8	10,1	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,2
610,0	6,0	370,2	10,4	10,1	10,0	9,9	9,8	9,7	9,6
660,0	6,0	426,6	10,6	10,4	10,3	10,2	10,1	10,0	9,9
711,0	6,0	488,1	10,9	10,6	10,6	10,5	10,3	10,2	10,1
762,0	6,0	553,7	11,1	10,9	10,8	10,7	10,6	10,5	10,4
813,0	6,0	623,3	11,3	11,1	11,0	10,9	10,8	10,7	10,6
864,0	6,0	697,1	11,5	11,3	11,2	11,2	11,1	11,0	10,9
914,0	6,0	773,4	11,7	11,5	11,4	11,4	11,3	11,2	11,1
1016,0	6,0	941,1	12,1	11,9	11,8	11,7	11,7	11,6	11,5

Рис. D.8.4-7: d) Расчетный пролет между подвижными опорами в м для пустых бесшовных труб (d x s), с толщиной изоляции (Dd)

d мм	s мм	$q_м$ кг/м	Dd = 0 мм	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм	300 мм
60,3	2,9	4,1	4,6	3,5	3,1	2,8	2,5	2,1	1,9
63,5	2,9	4,3	4,7	3,7	3,2	2,9	2,6	2,2	2,0
70,0	2,9	4,8	4,9	3,9	3,5	3,1	2,7	2,5	2,2
76,1	3,2	5,8	5,1	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5
88,9	3,2	6,8	5,6	4,5	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8
101,6	3,6	8,7	6,0	5,0	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4
108,0	3,6	9,3	6,1	5,2	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5
114,3	3,6	9,8	6,3	5,3	4,9	4,5	4,2	4,0	3,7
127,0	4,0	12,1	6,7	5,7	5,3	4,9	4,6	4,3	4,1
133,0	4,0	12,7	6,8	5,9	5,4	5,1	4,7	4,5	4,3
139,7	4,0	13,4	7,0	6,0	5,6	5,2	4,9	4,6	4,4
159,0	4,5	17,1	7,5	6,5	6,1	5,8	5,4	5,1	4,9
168,3	4,5	18,2	7,7	6,8	6,3	6,0	5,6	5,3	5,1
193,7	5,6	26,0	8,3	7,4	7,0	6,7	6,3	6,1	5,8
219,1	6,3	33,1	8,8	8,0	7,6	7,3	6,9	6,7	6,4
244,5	6,3	37,0	9,3	8,5	8,1	7,7	7,4	7,1	6,8
273,0	6,3	41,4	9,8	9,0	8,6	8,2	7,9	7,6	7,3
323,9	7,1	55,5	10,7	9,9	9,5	9,2	8,9	8,6	8,3
355,6	8,0	68,6	11,2	10,5	10,1	9,8	9,5	9,2	8,9
406,4	8,8	86,3	12,0	11,3	10,9	10,6	10,3	10,0	9,7
457,0	10,0	110,2	12,7	12,0	11,7	11,4	11,1	10,9	10,6
508,0	11,0	134,8	13,4	12,8	12,5	12,2	11,9	11,6	11,4
610,0	12,5	184,2	14,7	14,1	13,8	13,5	13,3	13,0	12,8

Рис. D.8.4-8: e) Расчетный пролет между подвижными опорами в м для пустых сварных труб (d x s), с толщиной изоляции (Dd)

d мм	s мм	$q_м$ кг/м	Dd = 0 мм	50 мм	100 мм	150 мм	200 мм	250 мм	300 мм
60,3	2,9	4,1	4,6	3,5	3,1	2,8	2,5	2,1	1,9
63,5	2,9	4,3	4,7	3,7	3,2	2,9	2,6	2,2	2,0
70,0	2,9	4,8	4,9	3,9	3,5	3,1	2,8	2,5	2,2
76,1	2,9	5,2	5,1	4,1	3,7	3,3	3,1	2,7	2,4
88,9	2,9	6,2	5,6	4,5	4,0	3,7	3,4	3,1	2,7
101,6	2,9	7,1	6,0	4,9	4,4	4,0	3,7	3,5	3,1
108,0	2,9	7,5	6,2	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,2
114,3	2,9	8,0	6,3	5,2	4,7	4,4	4,1	3,8	3,4
127,0	3,2	9,8	6,7	5,6	5,1	4,7	4,4	4,2	3,9
133,0	3,2	10,2	6,9	5,7	5,3	4,9	4,6	4,3	4,0
139,7	3,2	10,8	7,0	5,9	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2
159,0	3,2	12,3	7,5	6,3	5,9	5,5	5,1	4,8	4,6
168,3	3,6	14,6	7,7	6,6	6,2	5,8	5,4	5,1	4,9
193,7	3,6	16,9	8,3	7,1	6,7	6,3	5,9	5,6	5,3
219,1	4,0	21,2	8,8	7,7	7,3	6,8	6,5	6,2	5,9
244,5	4,0	23,7	9,3	8,2	7,7	7,3	6,9	6,6	6,3
273,0	4,0	26,5	9,9	8,7	8,2	7,8	7,4	7,1	6,8
323,9	4,0	31,6	10,8	9,5	9,0	8,6	8,2	7,8	7,5
355,6	4,0	34,7	11,3	10,0	9,5	9,0	8,6	8,3	8,0
406,4	5,0	49,5	12,1	10,9	10,4	10,0	9,6	9,3	9,0
457,0	5,0	55,7	12,8	11,6	11,1	10,7	10,3	9,9	9,6
508,0	5,0	62,0	13,5	12,2	11,8	11,3	10,9	10,6	10,2
559,0	6,0	81,8	14,1	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,1
610,0	6,0	89,4	14,8	13,6	13,2	12,8	12,4	12,0	11,7
660,0	6,0	96,8	15,4	14,2	13,7	13,3	12,9	12,5	12,2
711,0	6,0	104,3	16,0	14,7	14,3	13,8	13,4	13,1	12,7
762,0	6,0	111,9	16,5	15,3	14,8	14,4	14,0	13,6	13,2
813,0	6,0	119,4	17,1	15,8	15,3	14,9	14,4	14,1	13,7
864,0	6,0	127,0	17,6	16,3	15,8	15,3	14,9	14,5	14,2
914,0	6,0	134,4	18,1	16,7	16,3	15,8	15,4	15,0	14,6
1016,0	6,0	149,4	19,1	17,7	17,2	16,7	16,3	15,8	15,5

D) Допустимые расстояния

При прокладке трубопроводов следует обеспечить достаточные расстояния между осью трубопровода и ограждающей конструкцией здания, а также расстояние между осями проложенных параллельно трубопроводов.
Необходимо обеспечить беспрепятственный доступ к изоляции и элементам трубопровода (фланцам, арматуре и т. п.).

Рис. D.8.4-9: Проектные данные

Расстояние до ограждающих конструкций (мм) с фланцами и/или арматурой

Условный проход (DN)	25	32	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500
Без изоляции	150	150	150	150	150	200	200	200	250	300	300	400	450
С изоляцией	200	200	200	200	200	250	250	300	350	400	450	450	600

Расстояние до ограждающих конструкций (мм) без фланцев и/или арматуры

Без изоляции	150	150	150	150	150	200	200	200	250	300	300	350	400
С изоляцией	200	200	200	200	200	250	250	250	300	350	400	400	450

(источник: Mannesmann)

Примечание

Минимальное расстояние между изоляцией и ограждающими конструкциями составляет ок. 50 мм.

Рис. D.8.4-9: Проектные данные

DN	Расстояние между осями неизолированных трубопроводов (без изоляции)														DN
	25	40	50	80	100	150	200	250	300	350	400	450	500		
500	380	380	430	430	465	505	530	555	580	610	635	660	685	180	25
450	355	355	405	405	430	455	505	530	555	580	610	635	200	185	40
400	330	335	380	380	405	430	480	505	530	555	580	215	210	190	50
350	330	330	355	355	380	405	455	480	480	505	265	240	230	215	80
300	305	305	330	355	355	380	405	455	480	305	285	260	255	235	100
250	280	280	305	305	330	355	380	405	360	335	310	290	280	265	150
200	250	250	280	280	305	330	355	435	395	370	350	325	315	300	200
150	225	225	225	250	250	280	485	460	425	395	375	360	345	325	250
100	200	220	220	225	225	555	520	495	460	430	410	385	380	365	300
80	175	175	175	200	590	575	540	510	475	450	425	400	395	380	350
50	150	150	175	680	645	630	595	565	530	505	480	455	450	435	400
40	150	150	730	695	660	645	610	580	545	520	495	475	465	460	450
25	150	790	765	730	695	680	645	615	580	555	530	510	500	460	500
DN		500	450	400	350	300	250	200	150	100	80	50	40	25	DN
	Расстояние между осями изолированных трубопроводов (с изоляцией)														

(источник: Mannesmann)

Примечание

- Минимальное расстояние между поверхностью тепловой изоляцией трубопроводов – ок. 50 мм.
- Фланцы смещены друг относительно друга.
- Для температуры теплоносителя более 300 °C начиная с DN50 необходимо увеличить расстояние между осями трубопроводов на 40 – 50 мм.

E) Прокладка трубопроводов

В помещении паровой котельной:

- трассировка трубопроводов должна быть по возможности прямолинейной (с естественными поворотами) с использованием опорных конструкций и поперечных балок. Это облегчает установку необходимых опор, креплений и кронштейнов. Необходимо также обеспечить беспрепятственный доступ, техническое обслуживание и ремонт отдельных элементов системы трубопроводов (см. раздел E.1 – Установка).

Вне помещения паровой котельной:

- вне помещения паровой котельной прокладку отдельного трубопровода следует производить по наружным ограждающим конструкциям здания. При прокладке нескольких трубопроводов (например, паропровода, конденсатопровода, водопровода и трубопровода подачи топлива) от здания к зданию на большие расстояния необходимо применять так называемую прокладку трубопроводов на эстакадах.

Прокладка:

С учетом расчетных пролетов между двумя подвижными опорами и в зависимости от способа компенсации температурных удлинений на практике применяются различные типы подвижных опор.

В зависимости от величины действующих сил и изгибающих моментов выбирают между:

- скользящей опорой трубопровода (например, хомутовые опоры для подвески трубопроводов и скользящие опоры трубопроводов с направляющей);
- скользящей опорой трубопровода [a)] (как предыдущая, только с блокировкой движения в одном направлении (x-направлении и/или y-направлении));
- опорой трубопровода в виде узловой точки [b)] (н-р опоры с блокировкой движения в одном направлении (x, y или z-направлении));
- пружинной опорой трубопровода, выполненной как опорный подшипник и/или как подвесной подшипник, в качестве дополнительного варианта скользящей опоры трубопровода для вертикального движения (+/- z-направление).

Рис. D.8.4–10: Прокладка трубопроводов

DN	≤ [м] для: Г-образные компенсаторы	≤ [м] для: U-образные компенсаторы
50 до 80	50	100
100 до 150	70	140
200 до 250	80	160
300 до 350	90	180
≥ 400	100	200

[b)] Максимальные расстояния между неподвижными опорами (в м) (прямолинейные участки, контрольное значение) при Г-образных или П-образных компенсаторах температурного удлинения (см. рис. D.8.4-10).

D.8.5. Рекомендации по проектированию систем трубопроводов

Ниже будут рассмотрены трубопроводы, расположенные в помещении паровой котельной. Однако данные комментарии и рекомендации вполне подойдут трубопроводам, проложенным вне помещения котельной, особенно если это паропроводы и конденсатопроводы. См. AD-2000 – Технический паспорт HPOR 7.4.

A) Прокладка трубопроводов в местах, предусмотренных для технического обслуживания, должна обеспечивать необходимую высоту для прохода и беспрепятственного доступа (проходная высота согласно TRD 403 должна составлять ≥ 2000 мм). Следует избегать прокладки трубопроводов непосредственно над поверхностью пола. Альтернативой является прокладка трубопровода в каналах.

B) Выбор материала трубопровода осуществляется с учетом рабочей температуры и рабочего давления теплоносителя (см. D.8.1.4), а также номинального давления, следует дополнительно учитывать технические характеристики, изложенные в D.8.2.

D.8.5.1. Паропроводы / распределительные гребенки

При прокладке паропроводов следует учитывать не только фактор целесообразности, но и эксплуатационную безопасность.
В этой связи рекомендуется:

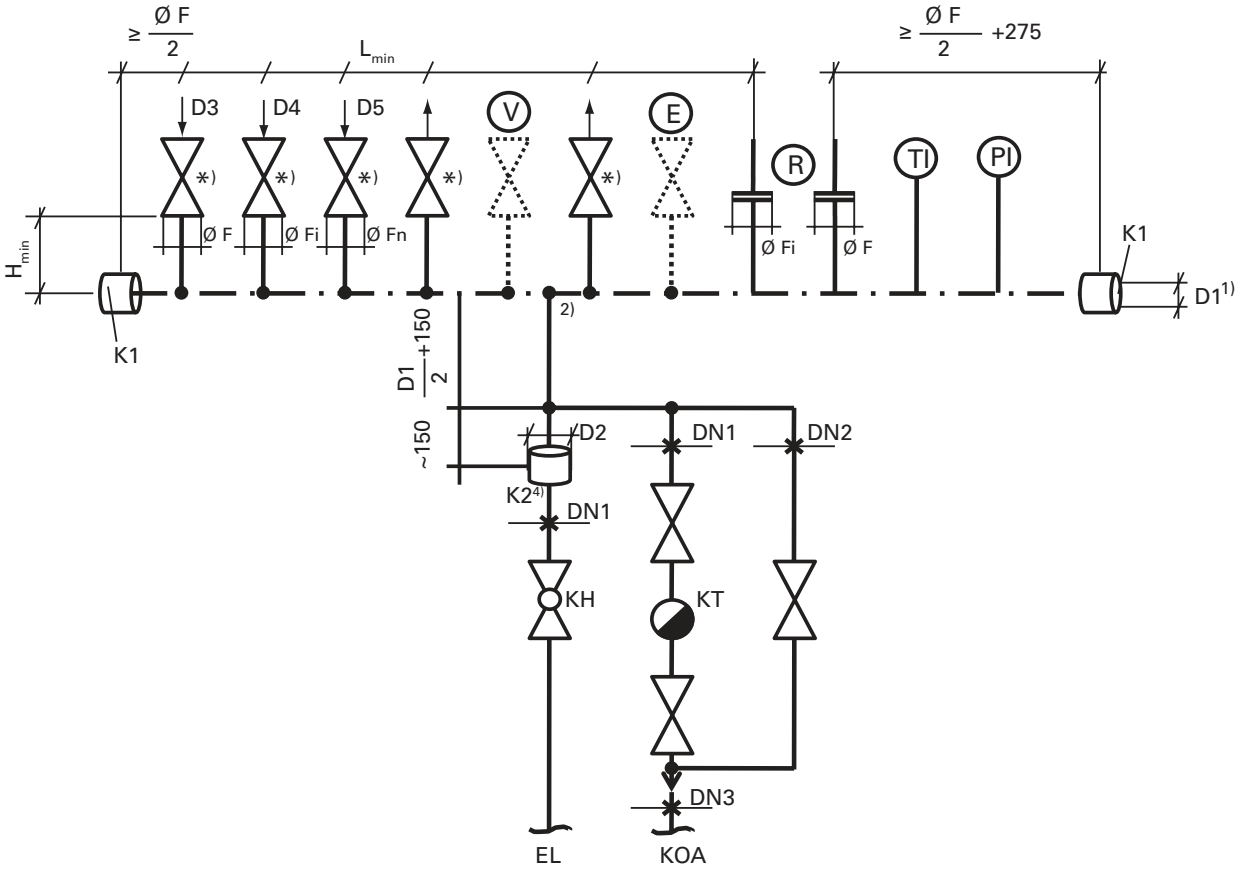
A) Паропроводы прокладывать с уклоном в направлении движения пара (см. B). Это относится в равной степени к трубопроводам перегретого пара к трубопроводам насыщенного пара. Уклон не менее чем 1:200 – 1:100, т. е. от 0,5 до 1%.

Паропроводы котельных установок (независимо от количества котлов) обычно подключаются к общей распределительной гребенке. К гребенке подключают трубопроводы потребителей и трубопроводы для собственных нужд (термическую деаэрационную установку, систему отопления помещения и т. п.), включая резервные подключения, подключения для измерительной техники, подключения отвода конденсата (см. рекомендуемую схему распределительной гребенки).

Примечание

- Уклон трубопровода должен быть не менее установленных значений, в противном случае отвод конденсата на участках трубопровода – из-за существующего допустимого уклона трубопровода (f_{zul}) уменьшается или вообще прекращается.
- Ответвления от паропровода следует подключать в высшей точке основного паропровода во избежание попадания конденсата.

Рис. D.8.5.1-1: Вариант исполнения распределительной гребенки



Условные обозначения к рис. D.8.5.1-1:

D1[1]	– диаметр распределительной гребенки в мм (см. рис. D.8.5.1-2)
D2[2]	– диаметр патрубка сбора конденсата / шлама в мм (см. рис. D.8.5.1-2)
D3 – D5	– диаметр условного прохода подающего трубопровода парового котла в мм
DN1	– условный проход остаточного опорожнения, отвода шлама и загрязнений (см. рис. D.8.5.1-2)
DN2	– условный проход попутного и пускового отвода конденсата (выбрано DN20)
DN3	– условный проход трубопровода отвода конденсата (выбрано DN25)
TI/PI	– точка замера температуры и давления (по месту и дистанционно)
V	– подключения потребителей
E	– подключения потребителей (собственные нужды)
R	– резервные подключения (глухой фланец) (обычно ок. 0,25 x V)
K1 / K2	– распределительная гребенка
KH	– шаровый кран
KT	– конденсатоотводчик (обычно биметаллический регулятор и/или шаровой поплавок)
KOA	– конденсатоотводчик в существующую систему сбора конденсата
EL	– отвод в центральную канализационную систему и/или в охладитель стоков
ØF	– наружный диаметр фланца (мм)
ØFi – Fn	– наружный диаметр смежных фланцев (мм)
Dd	– толщина изоляции (мм)

Hmin[3] Мин. высота фланцевого соединения (мм) ≥ $\frac{D1}{2} + Dd + 100$

Lmin Мин. расстояния между осями трубопроводов ≥ $\frac{ØF}{2} + \frac{Ø\,Fi/n}{2} + 100$

Примечание

1) Площадь поперечного сечения $\frac{\pi}{4}$ **x** $D1^2 \approx 1{,}5$ **x** площадь поперечного сечения $\frac{\pi}{4} \times (D3^2 + D4^2 + D5^2)$

2) Расположение сборного патрубка
   под подключениями потребителей (V)
3) Исполнение запорной арматуры согласно
   рис. D.8.5.1-1
4) Альтернативное подключение глухого
   фланца (фланцевой заглушки) K2

Рис. D.8.5.1-2: Диаметры и условные проходы для опорожнения трубопровода

D1 (мм)	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
D2 (мм)	80	100	100	100	150	150	200	200	200	250
DN 1	25	25	25	25	32	32	32	32	32	40

Рис. D.8.5.1-3: Распределительная гребенка



B) Дренажные устройства (механический и/или автоматический дренаж) рекомендуется устраивать перед каждым подъемом трубопровода, в низших точках, в конце трубопровода и на прямых участках трубопроводов на расстоянии от 25 до 100 м.
Дренажные устройства обычно подключаются с учетом величины давления к соответствующему трубопроводу для сбора конденсата. Конденсат из дренажного устройства паропровода, расположенного на значительном расстоянии от трубопровода для сбора конденсата, как правило, отводится под открытое небо.

Здесь предпочтительнее применять термодинамические конденсатоотводчики, идеальным, но значительно более дорогим, был бы поплавковый конденсатоотводчик.

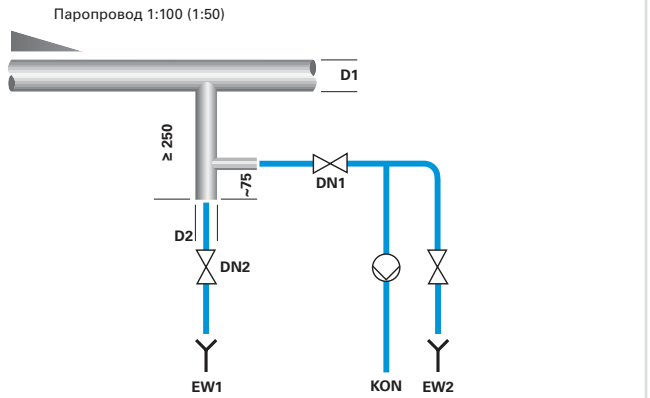
Для пара с незначительным перегревом (≤ 50 K выше температуры насыщенного пара) подходят конденсатоотводчики в обычном исполнении. При температуре перегрева > 50 K необходимо выбирать «специальное исполнение». В крайних случаях может применяться и «стандартный конденсатоотводчик», при условии, что конденсатоотводчик располагается на расстоянии от 1 до 2 м от конденсатного патрубка, а подводящий трубопровод останется неизолированным.

С целью обеспечения оптимального отвода конденсата диаметр патрубка выбирается «близким» к значению условного прохода паропровода. См. также рис. D.8.5.1-4 и D.8.5.1-5.

Рис. D.8.5.1-4: Условный проход паропровода и трубопровода для отвода конденсата

D 1	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
D 2	50	65	80	80	80	100	150	150	200	200	200	200	200	200
DN 1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DN 2	20	25	25	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50

Рис. D.8.5.1-5: Схема трубопровода для отвода конденсата



Условные обозначения:
EW1 – опорожнение, отвод продувочной массы в окружающую среду
EW2 – дренаж
KOA – дренаж в конденсатопровод

C) Удаление воздуха из паропровода, как правило, следует устраивать в конце паропровода и/или непосредственно перед подключением потребителей. Для этой цели более предпочтительны автоматические воздухоотводчики. В данном случае особенно рекомендованы изделия производства фирмы Gestra (например, биметаллический регулятор, мембранный регулятор, поплавковый конденсатоотводчик).

Нет необходимости устраивать дополнительное удаление воздуха для паропроводов внутри парового котла, поскольку удаление воздуха осуществляется при запуске парового котла в эксплуатацию.

Примечание

Слой воздуха в 1/10 мм толщины оказывает такое же сопротивление теплопередаче, как 10-мм-й слой загрязнений на поверхности нагрева. Кроме того, поступающий воздух (соответствующее содержание O_2) способствует коррозии трубопроводов и поверхностей нагрева.

D.8.5.2. Конденсатные трубопроводы и системы

Как правило, в направлении движения пара следует предусмотреть уклон к месту сбора конденсата (трубопровод сбора конденсата, бак сбора конденсата открытый и/или закрытый). Рекомендуется уклон не менее 1:100 (1 %).

Для охлажденного конденсата ≤ 95 °C (отсутствует вторичное парообразование) определение размеров поперечного сечения выполняется аналогично трубопроводам питательной воды и прочих жидких теплоносителей с температурой ниже чем температура кипения (см. раздел D.8.3.2).

В приведенном в D.7.2 уравнении для определения расхода пара вторичного вскипания (m_{DE}) следует выполнить следующую замену:

$\dot{m}_A = \dot{m}_{KON}$ – Общий расход конденсата (кг/ч);

$h'_{A/E} = h'_{K/E}$ – Энтальпия конденсата перед образованием пара вторичного вскипания (кВтч/кг) из табл. 2[a)];

$h'_{A/A} = h'_{K/A}$ – Энтальпия конденсата после образованием пара вторичного вскипания (кВтч/кг) из табл. 2[a)];

$h''_{D/E} = h''_K$ – Энтальпия пара вторичного вскипания (кВтч/кг) из табл. 2[a)].

Таким образом, уравнение имеет вид:

$$\dot{m}_{DE} = \dot{m}_{KON} \times \frac{h'_{K/E} - h'_{K/A}}{h''_K - h'_{K/A}} \quad [кг/ч]$$

Пример расчета № 1

Исходные данные:

T_{KON} ≈ 95 °C

$\dot{m}_{KON}$ ≈ 6000 кг/ч

w_{KON} ≈ 1,5 м/с (выбрано согласно D.8.3.1-1 – показатели скорости потока)

ρ_{KON} ≈ 962 кг/м³ (согласно табл. 2)

$$di = 2 \times \sqrt{\frac{6000\ кг/ч \times 1\ ч}{\pi \times 962\ кг/м^3 \times 1{,}5\ м/с \times 3600\ с}}$$

= 0,0384 м (выбрано DN40)

Пример расчета № 2

Исходные данные, как в примере № 1, только:

$T_{KON/E}$ ≈ 158 °C перед снижением давления

$p_{KON/E}$ ≈ 5,0 бар перед снижением давления

$h'_{K/E}$ ≈ 0,186 кВтч/кг перед снижением давления

$T_{KON/A}$ ≈ 133 °C после снижения давления

$p_{KON/A}$ ≈ 2,0 бара после снижения давления

$h'_{K/A}$ ≈ 0,156 кВтч/кг после снижения давления

h''_K ≈ 0,758 кВтч/кг энтальпия пара вторичного вскипания после падения давления

$$\dot{m}_{DE} = 6000\ кг/ч \times \frac{(0{,}186\ кВтч/кг - 0{,}156\ кВтч/кг)}{(0{,}758\ кВтч/кг - 0{,}156\ кВтч/кг)}$$

= 299 кг/ч

w_{DE} ≈ 15 м/с выбрано (согласно D.8.3.1.1 – Ориентировочные значения скоростей потока)

v''_{DE} ≈ 0,606 м³/кг (из табл. 2 спец. объем)

$$di = 2 \times \sqrt{\frac{299\ кг/ч \times 0{,}606\ м^3/кг \times 1\ ч}{\pi \times 15\ м/с \times 3600\ с}}$$

= 0,0654 м (выбрано: DN65 > DN40 пример расчета № 1)

Примечание

На основании рис. 8.1.1-1 внутренний диаметр трубопровода принимается равным 70 мм.

[a)] В зависимости от рабочего давления конденсата.

Для участка трубопровода между потребителем (например, теплообменником) и конденсатоотводчиком, как правило, диаметр выбирается по условному проходу конденсатоотводчика. Для участка конденсатопровода после конденсатоотводчика основным фактором для выбора размеров поперечного сечения трубы является расход пара вторичного вскипания (mDE) (из-за снижения давления) (см. раздел D.7.2, а также рис. D.8.1.1-1 и пример расчета №2 в D.8.5.2).

Благодаря вышеупомянутому уклону обеспечивается полное опорожнение конденсатопровода при остановке системы. По этой же причине подающие трубопроводы должны подключаться к магистральному (главному) трубопроводу «сверху», если возможно в направлении движения.
Для гидравлической «расстыковки» отдельных участков трубопроводов дополнительно рекомендуется установка обратного клапана.

Примечание
Отвод конденсата с различным давлением в один конденсатопровод может осуществляться только после предварительного снижения давления конденсата.

При трассировке трубопровода следует избегать низших точек (так называемых водосборников) из-за опасности замерзания. Поэтому в низших точках системы трубопроводов необходимо предусмотреть дренаж. Все устройства и арматура должны быть способны к работе в режиме «холостого хода».
При прокладке снаружи здания рекомендуется применение так называемых stauer-конденсатоотводчиков. Такой конденсатоотводчик, который настроен, например, на температуру открытия ок. +10 °C, автоматически открывается после отключения системы, как только температура падает до уровня точки замерзания.

Если технологически требуется «забор» конденсата (например, при прокладке основного трубопровода сбора конденсата выше точки выпадения конденсата) в зависимости от количества конденсата рекомендуется применение так называемых «конденсатоподъемников». Из-за подъема конденсата после конденсатоотводчика возникает сопротивление, которое рассчитывается по формуле:
$p_G \approx 0{,}15$ бар/м + p_{KON} бар, где P_{KON} – это избыточное давление (бар) непосредственно в основном конденсатопроводе.

Примечание
Система отвода конденсата должна проверяться как минимум раз в полгода на предмет ее функциональности.
Для этой цели рекомендуется применение электронных контрольных систем (например, Gestra тип VKE 26 с электродом NRG 16-27 и контрольной станцией NRA 1-3 с устройством сигнализации).
Для каждого конкретного случая для выбора оборудования систем отвода конденсата, рекомендуется дополнительно обратиться к материалам по проектированию соответствующего производителя.

D.8.5.3. Трубопроводы щелочного раствора котла и продувочной массы

Прокладка трубопровода от фланца подключения парового котла до подключения и входа в расширитель щелочного раствора котла или охладитель стоков (см. раздел C.8.1, D.7.1 и D.7.2).

Если в многокотельной установке трубопроводы перед входом в термические агрегаты выводятся в общий коллектор, необходимо обеспечивать гидравлическую развязку в точке входа (устанавливать обратный клапан на каждый отдельный трубопровод).

При подключении трубопроводов к общему коллектору необходимо предусмотреть подключение сверху. Трубопроводы следует укладывать под достаточным уклоном в направлении потока. Минимальный уклон составляет 1/100 (1%) аналогично D.8.5.2, здесь также аналогично D.8.5.2 выбор размеров поперечного сечения трубопровода.

С целью гидравлически бесшумного отвода продувочной массы (специально для трубопровода периодической продувки) следует поддерживать уровень входных точек на охладителе стоков по возможности ниже подающих трубопроводов (установка охладителя стоков ниже верхней кромки пола). Из-за ожидаемых легких колебаний и гидравлических ударов во время эксплуатации необходимо применять скользящие опоры при прокладке трубопровода (см. D.8.4).

Особенно следует обеспечивать беспрепятственное тепловое расширение, при этом патрубки подключения парового котла и термических агрегатов не должны быть перегружены.

Примечание
С учетом только относительно коротких длин трубопровода не рекомендуется выбор размеров поперечного сечения трубопровода с учетом образования пара вторичного вскипания. По этой причине отвод «двухфазного потока» в трубопровод осуществляется со специальным разделом фаз (пар/вода) в расширителе щелочного раствора или охладителе стоков. Условный проход для соответствующего трубопровода необходимо выбирать с учетом условного прохода арматуры подключения к котлу. Если трубопровод периодической продувки должен быть проложен вертикально на более чем 1 м, с целью минимизации гидравлических ударов рекомендуется постоянный дренаж трубопровода в низшей точке перед каждой периодической продувкой.

D.8.5.4. Питательная вода – умягченная вода – питьевая вода

Прокладка трубопровода:

A) Питательная вода – всасывающий трубопровод

- От бака запаса питательной воды до соединительного фланца (со стороны линии всасывания) насосов питательной воды парового котла.
- При обеспечении постоянного уклона и высоты подачи к питательным насосам (см. раздел D.6).
- С учетом достаточной компенсации температурного удлинения в зависимости от допустимых нагрузок (поперечных усилий и моментов) требуется для всасывающих патрубков насосов согласно информации от производителя или в соответствии с проектом.
- Обеспечение возможности дренажа в низшей точке трубопровода, минимум DN20.
- Выбор размеров поперечного сечения трубопровода согласно D.8.3.1 с учетом допустимых общих потерь давления ≤ 0,5 м. вод.ст.

B) Питательная вода – напорный трубопровод

- От напорных патрубков насосов питательной воды до входного патрубка питательной воды на паровом котле и/или (при эксплуатации с экономайзером) патрубка подключения на экономайзере.
- Обеспечение удаления воздуха в наивысших точках трубопровода или возможности дренажа в низших точка трубопровода, как минимум DN20.
- С учетом компенсации температурного расширения, как в A), только в отношении напорных патрубков насосов питательной воды котла.
- Выбор размеров поперечного сечения трубопровода, как в A), только в отношении потерь общего давления трубопровода до входа в паровой котел ≤ 0,1 x p_B (где p_B = рабочему давлению котла); при этом для расчета толщины стенки следует основываться на давлении насоса питательной воды котла при «нулевом напоре» (максимально возможный напор насоса определяется по рабочей графической линии насоса), который может быть выше, чем рабочее давление (рабочее давление ≈1,1 x p_B, см. раздел D.6).

C) Трубопровод сырой воды – питьевой воды

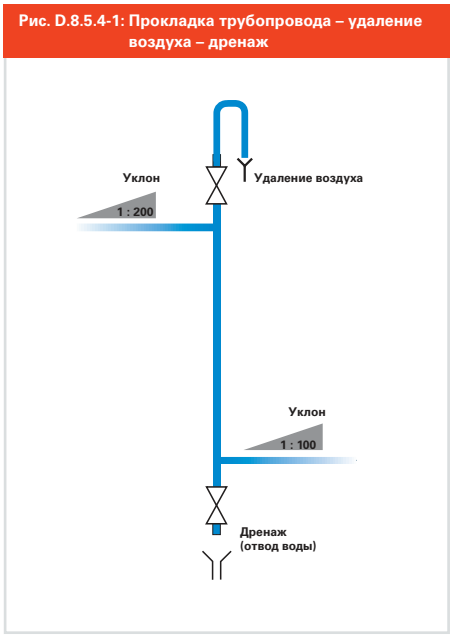
- От точки подключения со стороны потребителя до подключения к установке XBO (установке химической водоподготовки), с учетом необходимых условных проходов подключения труб (см. раздел D.8.3.1 – Скорости).
- Предотвращение обратного течения со стороны подключения потребителя согласно DIN 1988 с помощью обратного клапана.
- Определение требуемого расхода воды в соответствии с типом XBO (см. раздел D.4.3.1) при минимальном давлении 3,0 бар и максимальном давлении 6,0 бар.
- Обеспечение остаточного опорожнения (дренажа) в низшей точке трубопроводов, как минимум DN15 – DN20.
- Информация о компенсации температурного расширения отсутствует по причине температуры среды < 20 °C.

D) Как C), только для подключения охладителя стоков

- Как отвод от C) с побочной точкой подключения в направлении потока после предотвращения обратного потока при обеспечении необходимого количества охлаждающей воды согласно разделу D.7.1.

[a] Включая существующее сопротивление от установки термической водоподготовки.

Рис. D.8.5.4-1: Прокладка трубопровода – удаление воздуха – дренаж



E) Трубопровод умягченной воды

- От установки ХВО до патрубка подключения деаэратора.
- Обеспечение дополнительной защиты от гидроудара в направлении потока в конце трубопровода, непосредственно перед входом в деаэратор.
- Условный проход патрубков (определение размера поперечного сечения), минимальное давление потока и компенсация температурного расширения как в C).

F) Прокладка трубопровода / удаление воздуха / дренаж

- Чтобы удалить воздух из горизонтальных трубопроводов, рекомендуется минимальная скорость потока ≥ 0,3 м/с.
- Трубопровод следует укладывать с уклоном от воздухоотводчика.

Прокладка трубопровода / дренаж

- Минимальный условный проход спускных вентилей необходимо выбирать таким образом, чтобы иметь возможность сливать «мусор» (механические загрязнения). По этой причине на практике используются условные проходы, как минимум DN20, и клапана с самоочищающимся седлом. В крайнем случае арматура должна быть продуваемая (шаровой кран). Трубопроводы следует укладывать с уклоном в сторону дренажного устройства.
- Трубопроводы дренажа и удаления воздуха должны «просматриваться» через общий коллектор с центральным отводом в напольный водоотвод.

D.8.5.5. Трубопроводы выпара, трубопроводы отработанного пара, продувочные трубопроводы

Прокладка трубопровода

A) Трубопровод выпара

- От установки термической деаэрации при прокладке трубопровода вне здания (через кровлю).
- Прокладка трубопровода при подъеме в направлении потока.
- Прокладка трубопровода по возможности на небольшие расстояния и прямолинейно, при достаточной компенсации температурного удлинения.
- Выбор размеров поперечного сечения трубопровода при «расширении условного прохода» по сравнению с заданным условным проходом подключения деаэратора в качестве рекомендации. С учетом непревышаемых потерь общего давления трубопровода $\leq 0{,}5 \times p_{B/E}$ (где $p_{B/E}$ – существующее давление деаэратора) и максимального количества выпара ($m_{D/B}$) согласно разделу D.7.3.

B) Трубопровод удаления воздуха – трубопровод выпара

- Для бака сбора конденсата (открытого) установки частичной деаэрации и охладителя стоков укладывать от соединительного фланца агрегата, с уклоном на возрастание (через кровлю, вне здания).
- Прокладка трубопровода по возможности на небольшие расстояния и прямолинейно, при достаточной компенсации температурного расширения.
- Выбор размеров поперечного сечения трубопровода производится в соответствии с патрубками подключения (условным проходом фланцевого подключения).

Пример расчета №1

(См. также D.7.1 и D.8.3.1)

$$di_{(erf)} \geq 2 \times \sqrt{\frac{\dot{m}_{a/DE} \times v''_{D}}{w_{D(MAX)} \times \pi}} \quad [м]$$

Исходные данные:

- Максимальная продувочная масса $\dot{m}_a$ ≈ 7,5 кг/с
- Рабочее избыточное давление (p_B) ≈ 13 бар
- Падение давления до уровня атмосферного ≈ 0 бар
- Доля пара вторичного вскипания (f_{DE}) (из G.2 табл. 6) 17%, что соответствует ≙ 0,17 кг $_{Dampf}$/кг$_{Abschlammmenge}$
- Количество пара вторичного вскипания – $\dot{m}_{a/DE} = \dot{m}_a \times f_{DE}$ = 7,5 кг/с x 0,17 кг$_{Dampf/Abschlammmenge}$ = 1,275 кг$_{Dampf}$/с
- Удельный объем v''_D пара вторичного вскипания при атмосферном давлении (из табл. 2) = 1,694 м³/кг
- Выбранная максимальная предельная скорость потока $w_{D(MAX)}$ ≈ 70 м/с (см. примечание к 1) раздел D.8.3.1)

Таким образом, требуемый внутренний диаметр трубопровода удаления газов:

$$di_{(erf)} \geq 2 \times \sqrt{\frac{1{,}275 \text{ кг/с} \times 1{,}694 \text{ м}^3/\text{кг}}{70 \text{ м/с} \times \pi}} \geq 0{,}198 \text{ м}$$

Примечание

С учетом допустимого избыточного давления 0,5 бар для охладителя стоков:

$di_{(erf)(0,5\ бар)}$ где $v''_{D(0,5\ бар)} \approx 1{,}159$ м³/кг

$$di_{(erf)(0,5\ бар)} \geq 2 \times \sqrt{\frac{1{,}275 \text{ кг/с} \times 1{,}159 \text{ м}^3/\text{кг}}{70 \text{ м/с} \times \pi}} \geq 0{,}163 \text{ м}$$

что соответствует заводским данным компании VIESSMANN DN 150.

Примечание

Выбранные размеры поперечного сечения трубопровода для удаления газов охладителя стоков должны обеспечивать отвод образующегося при периодической продувке пара «без» увеличивающего условный проход сопротивления.

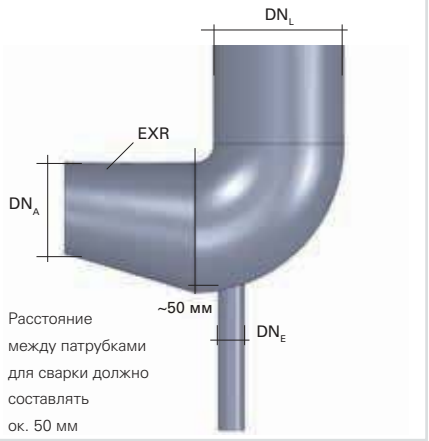
C) Предохранительный клапан (SIV) – продувочные трубопроводы:

- SIV-паровой котел;
- SIV-термический деаэратор;
- SIV-экономайзер (если есть в наличии и оснащен научным устройством);
- SIV-пароперегреватель (если есть в наличии и оснащен научным устройством);
- продувочные трубопроводы необходимо выполнять по возможности короткими и «прямолинейными», при достаточной компенсации температурного удлинения;
- продувочные трубопроводы должны беспрепятственно «входить» в коллектор;
- не допускается скопление жидкости (конденсата, дождевой воды и т. п.) в системе продувочных трубопроводов, по этой причине необходимо предусматривать дренажные трубопроводы в низшей точке трубопровода (см. чертеж).

Примечание

При открытии предохранительных клапанов в зависимости от давления открытия и количества могут возникнуть неожиданные шумы в устье трубы. Можно ожидать кратковременный уровень звукового давления в диапазоне от 120 до 132 дБ(А). В этой связи рекомендуется применять шумопоглотители с коэффициентом шумопоглощения от 30 до 50 дБ(А).

Рис. D.8.5.5-1: Система продува



Условные обозначения:

DN_A – условный проход SIV-выход

DN_L – условный проход SIV-продувочный трубопровод (рекомендуется: DN_A + 1 x увеличение условного прохода)

DN_E – условный проход – удаление воды (рекомендуется: от DN15 до DN25)

EXR – эксцентричное сокращение условного прохода

- со стороны выхода продувочный трубопровод рекомендуется расширить как минимум на один условный проход (см. чертеж), однако при соблюдении следующих условий:
  - отвод массового потока пара (m_{FD}) без повышения допустимого рабочего избыточного давления более чем на 10%;
  - предохранительный клапан => генератор насыщенного пара ≥ m_{FD} (как мощность парового котла);
  - предохранительный клапан => пароперегреватель ≥ 0,25 x m_{FD}
  - предохранительный клапан; => термическая деаэрация ≥ m_{FD} (как требуемое количество пара для обогрева – см. раздел D.10.2);
- для диаметра DN_L и длины трубопровода, существующих отводов и прочих элементов необходимо определять размеры таким образом, чтобы не превышать установленное производителем для соответствующих предохранительных клапанов сопротивление и надежно обеспечивать отвод пара;
- не должно превышаться сопротивление >0,15 x p_A (где p_A – установленное продувочное давление предохранительного клапана).

Скорость на выходе наряду с распространением шума от клапана, как правило, влияет на ожидаемую шумовую нагрузку. По этой причине не разрешается превышать скорость, указанную в разделе D.8.3.1.

Продувочные трубопроводы должны быть рассчитаны и выполнены таким образом (с учетом условий эксплуатации), чтобы надежно выдерживать статические, динамические (реакции опор и силы отдачи) и термические напряжения.

Рекомендуется рассматривать предохранительные клапаны как опорную точку. Вертикальные движения трубопроводов должны быть компенсированы соответствующим образом изготовленными пружинными опорами (см. D.8.4). Необходимо дополнительно ознакомиться с инструкциями по монтажу соответствующих предохранительных клапанов.

Рекомендации по прокладке через кровлю

Проход через кровлю с тепло- и звукоизолированной втулкой (вертикальная скользящая опора) и защита от осадков (козырек); одно- и/или двухстороннее «тупоугольное» устье трубы на выходе (см. рис. D.8.5.5-2/3/4):

Рис. D.8.5.5-2: Вариант A

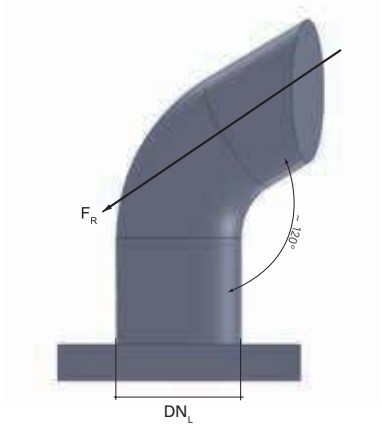
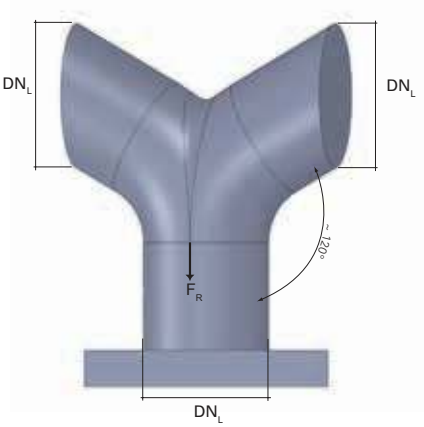


Рис. D.8.5.5-2: Вариант B



При выборе варианта A следует учитывать возникающий изгибающий момент из-за силы отдачи F_R при проходе через кровлю.

Вариант C
Проход через стену с тепло- и звукоизолированной втулкой (горизонтальная скользящая опора)

Недостатки:
предусмотрено устройство шумоглушителя или возможность доукомплектации.
Увеличены изгибающие моменты.

Рис. D.8.5.5-2: Вариант C



D.8.5.6. Топливные трубопроводы

A) Общие сведения

- Рассматриваются трубопроводы на участке от входа в здание и до подключения к горелочному устройству для жидкого топлива (extra light) и природного газа (E).
- Определение размеров подключения в соответствии с данными горелочного устройства (для сжигания газа и/или жидкого топлива) в зависимости от требуемой мощности сгорания (см. раздел D.3.3.1).
- Выбор размеров подводящих трубопроводов с учетом рекомендуемых значений скорости потока см. D.8.3.1 и D.8.3.2.
- Исполнение трубопровода для жидкого топлива (от жидкотопливной емкости до горелочного устройства и обратно к жидкотопливной емкости) в виде так называемого «кольцевого трубопровода». В циркулирующем кольцевом трубопроводе в жидком топливе поддерживается постоянное давление в диапазоне от 1,0 до 2,5 бар с помощью соответствующим образом подобранных регулирующих вентилей.
- Выбор размеров кольцевого трубопровода (как рекомендация): ок. 1,5 – 2,5-кратное увеличение (в зависимости от величины установки) x потребность в топливе B_B.
- Подключение к кольцевому трубопроводу со стороны горелочного устройства через газо- / воздухоотделитель.
- Трубопроводы удаления воздуха и трубопроводы дренажа (как рекомендация DN15 – DN20) следует выводить в закрытые емкости (например, slop-емкости) и подводить для повторного использования (с применением насосов).
- Трубопроводы удаления воздуха и трубопроводы дренажа на участке газовой арматуры за пределами помещения необходимо укладывать с уклоном (предпочтителен «проход через наружную стену»).
- Если требуется удаление воды из газопровода (например, ожидается газовый конденсат), необходимо обеспечить безопасный отвод протекающего газа.
- Опоры для трубопровода, а также выбор соответствующего расстояния следует выполнять в соответствии с разделом D.8.4.
- Компенсация линейного температурного удлинения («естественные» отводы трубопроводов и неожидаемая температура внешней среды > 40 °C).

B) Специально для жидкого топлива (extra light)

Трубопровод жидкого топлива

- Согласно Директиве 97/23/EG жидкое топливо (HEL) относят к 2 группе.
- При предполагаемом давлении ≤ 3,0 бар и условном проходе существенно ниже DN 100 исполнение трубопровода осуществляется с учетом главы 3, абзаца 3 (см. также D.8.1.3).
- Следует учитывать положения TRD 411 «Сжигание жидкого топлива в паровых котельных установках», в особенности 6.1, 6.2, 6.3 и 7.1 «Запорные устройства», а также: DIN EN 12953-7, в особенности 4.2 и 4.3 со ссылкой на DIN EN 267 «Жидкотопливная горелка с вентилятором».

C) Специально для газопровода

- Согласно Директиве 97/23/EG природный газ относят к 1 группе.
- При предполагаемом давлении ≤ 4,0 бар и условном проходе > DN25, но ≤ DN 350, исполнение трубопровода осуществляется согласно категориям I, II или III для условного прохода > DN 350 (см. также D.8.1.3).
- Следует дополнительно учитывать положения TRD 412 «Сжигание газа в паровых котельных установках», в особенности 4 и 5.1 «Запорные устройства вне помещения паровой котельной установки», DIN EN 12953-7 в особенности 4.2. и 4.3. со ссылкой на DIN EN 676 «Вентиляторные горелки для газового топлива».

D.8.5.7. Отвод сточных вод и внутрипольный отвод сточных вод

Образующиеся в установке технологические сточные воды необходимо выводить с помощью централизованной системы отвода сточных вод при соблюдении действующих норм и правил.

С этой целью на стадии проекта необходимо предусмотреть соответствующие устройства для отвода сточных вод (внутрипольный отвод сточных вод). Уклон отвода (основного трубопровода) в направлении потока не должен быть меньше, чем 1:50 (2 см/м).

A) Паровой котел
Располагается в конце котла с правой стороны (от горелки) на расстоянии ок. 500 мм, рядом с основной рамой, на входе рекомендуется DN 100, предназначен для:

- отвода конденсата дымовых газов (кратковременно при «холодной фазе» паровой котельной установки). Примечание: (см. D.2.3.3) конденсат дымовых газов со значением pH < 6,5 перед отводом, как правило, пропускается через устройство нейтрализации конденсата;
- отвода конденсата предохранительного клапана продувочной линии;
- удаления воздуха из дренажного трубопровода питательной воды;
- удаления воздуха из котла;
- продувочного трубопровода и трубопровода удаления воздуха;
- дренажа из охладителя проб (непрерывно, максимально один раз за восьмичасовую смену, ≤ 0,25 л/с);
- удаления воздуха / дренажа экономайзеров.

B) Бак запаса питательной воды – бак сбора конденсата
Располагается в зависимости от выбранного места на плане непосредственно на входе трубопровода рекомендуется 100 ≤ DN ≤ 125 в зависимости от размеров установки, предназначена для:

- перепускной массы (перелив)[a];
- опорожнения емкостей (ревизионный случай или ремонт);
- конденсата из предохранительного клапана продувочной линии;
- продувочной линии или трубопровода сточных вод (контроль уровня заполнения);
- дренажа (остаточного опорожнения) всасывающего трубопровода питательной воды);
- дренажа от питательных насосов котла.

Примечание

На входе должен обеспечиваться прием дополнительных сантехнических сточных вод (например, вода при мойке пола).

[a] Максимально ожидаемый расход в кг/ч ≤ 0,5 x m_{FD} (где m_{FD} – паропроизводительность котла в кг/ч).

[b] См. рис. D.4.1.2-1.

C) Охладитель стоков – охладитель непрерывной продувки
Располагается в зависимости от выбранного места на плане непосредственно у охладителя стоков, на входе рекомендуется 100 ≤ DN ≤ 150 в зависимости от величины установки, предназначен для:

- остаточного дренажа емкости (охладитель стоков[a)] и/или охладитель непрерывной продувки);
- необходимого остаточного дренажа парового кола;
- непрерывный расход сточных вод (m_A кг/ч) из охладителя стоков (см. D.7.1) в зависимости от паропроизводительности котла (m_{FD} кг/ч), требуемой степени непрерывной продувки (A%), температуры воды непрерывной продувки (T_A °C), т. е. температуры на входе в охладитель стоков, выбранной температуры сточных вод на выходе из охладителя стоков ($T_{AW/A}$ °C) и существующей температуры охлаждающей воды (T_{KW} °C), т. е. температуры на входе в охладитель стоков, определяется по формуле:

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{FD} \times \frac{A}{100} \left(1 + \frac{(T_A - T_{AW/K})}{(T_{AW/K} - T_{KW})} \right) \text{(кг/ч)}$$

(если пренебречь периодически поступающим расходом периодической продувки (m_a).
Исходные данные:
$\dot{m}_{FD}$ = 25 000 кг/ч
A = 5%
T_A = 105 °C
$T_{AW/K}$ = 30 °C
T_{KW} = 15 °C => $\dot{m}_A \approx$ 7500 кг/ч

При этом непрерывный расход сточных вод составит:
$\dot{m}_{FD}$ = 4000 кг/ч; => $\dot{m}_A \approx$ 1200 кг/ч

как и ранее, но 3 x 25 000 кг/ч
$\dot{m}_A$ ≈ 22 500 кг/ч

Примечание к примеру расчета:
Таким образом, еще раз уточняется рекомендованный диапазон DN.
Если степень непрерывной продувки в диапазоне 3% < A ≤ 6%, а максимальная паропроизводительность котла в диапазоне 25 ≤ m_{FD} ≤ 75 т/ч, то DN на входе увеличивается до 150 и/или рекомендуется применение дополнительного охладителя непрерывной продувки (согласно уравнению из D.7.1) с целью минимизации потребности в охлаждающей воде.

D) Установка химической водоподготовки (CWA)
Располагается в зависимости от выбранного места на плане непосредственно (ок. 500 мм) в направлении потока, перед «свободным» подключением сточных вод, в зависимости от типоразмера CWA 100 ≤ DN ≤ 125 с расчетом на непрерывный поток, в зависимости от регенерации установки и эксплуатации при полной нагрузке, один раз в смену (7 – 8 часов), с учетом следующих табличных данных (ориентировочные значения):

Рис. D.8.5.7-1: Типоразмеры

Типоразмер (см. также технический паспорт VIESSMANN)	60	120	200	320	400	500
Количество промывочной воды за регенерацию (м³)	0,11	0,22	0,375	0,6	0,75	0,9
Расход промывочной воды (м³/ч)	0,3	0,5	0,5	0,9	0,9	1,2

Рис. D.8.5.7-2 : Типоразмеры

Типоразмер (см. также технический паспорт VIESSMANN)	600	800	1000	1400	3000	4500
Количество промывочной воды за регенерацию (м³)	1,1	1,42	1,82	2,55	5,5	8,0
Расход промывочной воды (м³/ч)	1,6	1,6	2,7	2,7	5,8	7,5

Трубопроводы удаления воздуха и дренажа (остаточного опорожнения) также выводятся к общему входу.

E) Комментарии к нормативным документам
При проектировании централизованной системы сточных вод при условии возможного использования жидкого топлива необходимо принять соответствующие меры безопасности против попадания жидкого топлива в систему сточных вод (в аварийных случаях, при утечке, негерметичности и т. п.) (например, применение «блокираторов жидкого топлива»).

Основные нормативные документы:
- DIN 1986 – «Установки сточных вод для зданий и земельных участков» совместно с DIN EN 752 и DIN EN 12056;
- DIN 1999 – «Сепараторы жидкого топлива» совместно с DIN EN 858;
- DIN 4043 – «Блокираторы для легких жидкостей (блокираторы жидкого топлива).



Система отвода продуктов сгорания

Система отвода продуктов сгорания (с подключением к патрубку отходящих газов парового котла), как правило, состоит из отводящего газохода и его составляющих элементов до подключения к дымовой трубе паровой котельной установки.

Под составляющими элементами газохода понимаются отводы, компенсаторы, шумоглушители и клапаны отводимых газов с приводами для блокировки парового котла со стороны дымовых газов или для регулирования давления дымовых газов (регулирование давления в камере сгорания). Расчет системы отвода продуктов сгорания должен осуществляться с учетом национальных и местных стандартов. Общие требования к системе отвода продуктов сгорания (в зданиях и вне зданий) изложены в DIN EN 1443. Исполнение должно соответствовать действующим национальным стандартам, DIN 18160, а также TRD 403 7.

Для отдельностоящих дымовых труб наряду с общепринятыми строительными нормами следует руководствоваться:
DIN 1056, DIN 4133, DIN EN 13084-1.
Для аэродинамического расчета следует руководствоваться DIN EN 13384 и DIN EN 13084-1 (для отдельностоящих дымовых труб).

Приведенные ниже разделы содержат общие рекомендации по расчету системы отвода продуктов сгорания для обеспечения безупречной работы горелочного устройства. Несоблюдение этих правил может привести к серьезным проблемам при эксплуатации установки. Часто это акустические помехи и отсутствие стабильного сгорания или возрастающие вибрации в элементах конструкции.

D.9.1. Рекомендации по проектированию и расчету соединительных элементов

Дымовые газы должны отводиться из камеры сгорания непосредственно в дымовую трубу с минимальными потерями давления и теплоты. С этой целью соединительные элементы следует выполнять обтекаемой формы (прямыми, короткими, с соответствующим уклоном, с минимальным количеством отводов и соответствующей теплоизоляцией [A2]).

Возникающие тепловые расширения и напряжения в дымовой трубе следует компенсировать с помощью встроенных компенсаторов (здесь предпочтение отдается сильфонным компенсаторам) или гибких вставок.

Рекомендуются трубы (сварные трубы согласно DIN EN 10217-2 и/или трубы с цилиндрическим кожухом) с толщиной стенки > 4,0, но < 8,0 мм с высокой стойкостью к вибрациям и прочностью на сжатие.

Внутренний диаметр (условный проход) газохода (соединительных элементов) следует выбирать с учетом диаметра патрубка присоединения газохода соответствующего парового котла (см. рис. D.9.1-1).

- Повороты соединительных элементов необходимо выполнять с помощью соответствующих отводов ≤ 90°.
- Следует избегать соединительных элементов с несколькими отводами, т. к. воздушные и механические шумы, а также гидравлические удары нежелательны.
- Необходимые переходы (уменьшение/увеличение сечения) переход от округлого к прямоугольному каналу, например, подключение шумоглушителя и/или дымовой трубы рекомендуется выполнять под углом ≤ 30°.
- Материал соединительных элементов должен соответствовать температуре дымовых газов < 350 °C.

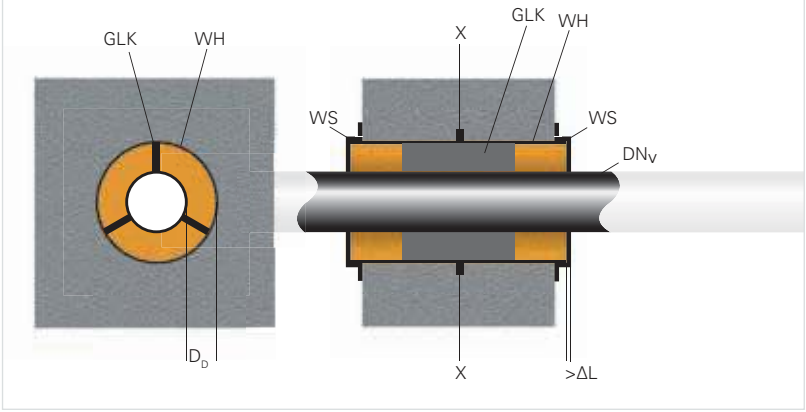
Рис. D.9.1-1: Диаметры патрубков присоединения газохода для паровых котлов серии Vitomax

Производительность парового котла ($\dot{m}_{FD}$) (т/ч)	0,7 – 0,9	1,15 – 1,4	1,75 – 2,3	2,9 – 3,8	4,0 – 5,0	6,0 – 7,0	8,0 – 10,0	11,0 – 12,0	14,0 – 16,0	18,0 – 20,0	22,0 – 25,0
Внутренний диаметр патрубка подключения газохода (мм)	240	290	340	440	600	700	800	900	1000	1100	1200

Примечание
При снижении температуры ниже точки росы (использование теплоты конденсата – см. D.2.3.3), при температуре среды[a] «продолжительно» < 90 °C и содержании серы в топливе > 0,2% от веса настоятельно рекомендуется применение коррозионностойких материалов (нержавеющей стали) (DIN 51603).

- Следует обеспечивать беспрепятственное стекание конденсата, выпадающего из дымовых газов по всей длине соединительных элементов (также непосредственно в дымовой трубе), обработку конденсата согласно ATV 251 и его утилизацию в соответствии с местными требованиями.
- С целью предотвращения утечки продуктов сгорания через дренажный трубопровод рекомендуется устройство гидравлического затвора около 100 мм.
- С целью предотвращения утечки продуктов сгорания через дренажный трубопровод рекомендуется устройство гидравлического затвора около 100 мм.
- Отверстия для чистки следует предусмотреть в соответствии с DIN 18160-1 и DIN 18160-5, а также Директивой IVS 105. Места расположения отверстий для чистки следует согласовать с соответствующей службой.

Рис. D.9.1-2: Проход через наружную стену



[a] Принимается, что ожидаемая температура среды ≙ температуре питательной воды на входе в «нелегированный» экономайзер (тип 100 и/или тип 200).

- Опоры трубопроводов (при соблюдении расчетных пролетов) следует предусматривать с учетом требуемых статических нагрузок. Рекомендуется использование скользящих опор, выполненных в качестве так называемых седловых опор для условного прохода > DN 800 и/или скользящих опор, выполненных в качестве подпружиненных опор (см. D.8.4).
- Пункты замеров (пункты замеров эмиссии) следует предусматривать в соответствующих местах. Согласно директиве VDI 4200 забор газов для анализа следует производить с учетом установленных норм.
- При установке клапана уходящих газов (см. D.9) настоятельно рекомендуется предохранительный концевой (конечный) выключатель «AUF» вывести на регулятор паровой котельной установки.

Примечание
Автоматический клапан на дымовой трубе.
Открытый клапан является условием запуска парового котла в эксплуатацию. После отключения системы клапан закрывается таким образом, чтобы он был закрыт не плотно (примерно на 95%), чтобы обеспечить отток «остаточной теплоты» из камеры сгорания через систему отвода продуктов сгорания.

- Проход через стену трубопровода с теплоизоляцией и защитой от влаги исполняется как скользящая опора с закладной конструкцией в стене и направляющими (см. рис. D.9.1-2).

Условные обозначения:
WH - закладная конструкция в стене с анкерным креплением по оси X
DN_V - диаметр условного прохода соединительного элемента (трубы)
D_D - требуемая толщина изоляции
WS - защита от влаги
ΔL - скользящее движение трубы
GLK - направляющие (3 x 120°)

D.9.2. Расчет параметров системы отвода продуктов сгорания

- Основой для расчета параметров системы отвода продуктов сгорания служат DIN EN 13384 и DIN EN 13084-4.
- Во избежание шумов в системе отвода продуктов сгорания не допускается превышение значений стандартных скоростей потока 12 – 15 м/с (в зависимости от рабочего объема ($м^3$/ч) и эксплуатации при полной нагрузке).
- Расчет горелочного устройства осуществляется таким образом, чтобы преодолеть сопротивление котла со стороны дымовых газов, включая экономайзер, ожидаемое сопротивление газохода и шумоглушителя (см. рис. D.9.2-1 и D.9.2-2 «Значения сопротивления парового котла») таким образом, чтобы на входе в дымовую трубу рабочее давление составляло ± 0 мбар (до «незначительного» избыточного давления 1 мбар в качестве рекомендации).

Сопротивление (Δp_{HG}) в зависимости от производительности парового котла ($\dot{m}_{FD}$) с/без использования экономайзера для типов котлов:

Рис. D.9.2-1: Тип котла M237/M73A

M73A $\dot{m}_{FD}$ [т/ч]	Δp_{HG} [a)] [мбар]	
	с ECO 200	без ECO
0,5	5	4,5
0,7	6	5
1,0	8	6,5
1,3	9,5	7,5
1,65	11	9,5
2,0	12	10,5
2,5	13,5	11
3,2	14	12
4,0	16	13

Ориентировочные значения, точные значения см. в техническом паспорте.

Рис. D.9.2-2: Тип котла M75A

M 75A $\dot{m}_{FD}$ [т/ч]	Δp_{HG} [a)] [мбар]	
	с ECO 200	без ECO
5	10	17
6	11	16
7	11	15
9	12	17
10	13	18
12	15	17
14	15	17
17	17	18
22	18	15
25	18	14
20,0	18,5	14,5
22,0	18,5	14,0
25,0	18,5	14,0

Ориентировочные значения, точные значения см. в техническом паспорте.

Для отдельностоящих дымовых труб согласно DIN EN 13084-1 производитель должен предоставить информацию о статических нагрузках. Возникающие в основании дымовой трубы поперечные усилия и изгибающие моменты являются основанием для расчета устойчивости дымовой трубы (выбор параметров системы крепления и фундамента, предоставление заказчиком экспертизы основания с привязкой к месту установки).

Примечание

Система крепления служит для надежного закрепления дымовой трубы к фундаменту посредством болтового соединения, с подключением заземления (молниезащиты) дымовой трубы.

[a)] Принимается ок. 1,5 – 5,0 мбар для всех элементов, включая шумоглушитель при скоростях потока в диапазоне от 10,0 до 15 м/с.

D.9.3. Подключение к дымовой трубе / исполнение дымовой трубы

Для отдельностоящих дымовых труб предусматривается внешняя несущая труба (из нелегированной листовой стали) и теплоизолированная внутренняя труба, по которой проходят дымовые газы (из легированной нержавеющей стали).

- Соединительные элементы должны примыкать к дымовой трубе под углом ≥ 30°, но ≤ 45° по направлению движения потока.
- При объединении нескольких паровых котлов в одну систему отвода продуктов сгорания следует избегать подключений, расположенных друг напротив друга или на равной высоте (см. D.9.4).
- Существующие на дымовой трубе насадки не должны препятствовать «свободному» выходу продуктов сгорания в атмосферу.
- Для каждого парового котла необходимо предусмотреть отдельную трубу, по которой происходит движение дымовых газов.

Примечание

Для дымовых труб с одной внешней несущей трубой и несколькими внутренними теплоизолированными трубами высоты, как правило, назначаются на основании действующих норм:

- для не требующих разрешений установок (1. BimSchV) – ответственным сотрудником соответствующей службы;
- для требующих разрешений установок (4./13. BimSchV) – соответствующей местной службой охраны здоровья и техники безопасности (LAGetSi) или ответственным контролирующим органом на основании соответствующего заключения.

Расчет дымовой трубы, а также системы отвода продуктов сгорания в целом, осуществляется на основании параметров дымовых газов в газоходе (таких как рабочий массовый расход (V_{ABG} в м³/ч), температура дымовых газов (в °C), давление (избыточное давление) (в мбар)), а также на основании требуемого пониженного давления (в мбар) у патрубка подключения к дымовой трубе / газоходу.
Рабочий массовый расход V_{ABG} определяется по формуле:

$$\dot{V}_{ABG} = \frac{\dot{m}_{FD} \times R}{\rho_{ABG}} \times (1 + 0{,}00367 \times T_{ABG})^{a)} \quad [м^3/ч]$$

где:

$\dot{m}_{FD}$ – производительность парового котла (кг/ч);

ρ_{ABG} – средняя плотность дымовых газов (согласно L4) ≈ 1,345 кг/нм³;

R – безразмерная величина для определения количества дымовых газов согласно техническому паспорту для котла Vitomax 200-HS (см. табл. D.9.4-1 и D.9.4-2);

T_{ABG} – температура отходящих газов (°C) (см. табл. D.9.4-1 и D.9.4-2) в зависимости от рабочего давления пара с применением или без применения экономайзера.

[a] Выражение в скобках, перерасчет из нормативного объемного расхода в рабочий объемный расход (рабочим давлением пренебрегают).

Рис. D.9.4-1: Vitomax 200-HS, тип M237 / M73A

Рабочее давление [p_B] бар	Vitomax 200-HS, тип M237 / M73A					
	R [-][a]			T_{ABG} in [°C][b]		
	без экономайзера	с экономайзером ECO 100	с экономайзером ECO 200	без экономайзера	с экономайзером ECO 100	с экономайзером ECO 200
6,0	1,094	1,053	1,032	246	168	126
8,0	1,105	1,060	1,038	256	172	127
10,0	1,1135	1,065	1,042	265	174	129
13,0	1,1235	1,070	1,0475	276	178	132
16,0	1,132	1,075	1,052	284	182	135
18,0	1,137	1,078	1,0535	290	184	137
20,0	1,141	1,081	1,0565	295	187	139
22,0	1,144	1,083	1,058	299	190	141
25,0	1,148	1,086	1,061	308	194	145

Fig. D.9.4–2: Vitomax 200-HS, тип M75A

Рабочее давление [p_B] бар	Vitomax 200-HS, тип M75A					
	R [-][a]			T_{ABG} in [°C][b]		
	без экономайзера	с экономайзером ECO 100	с экономайзером ECO 200	без экономайзера	с экономайзером ECO 100	с экономайзером ECO 200
6,0	1,083	1,0525	1,030	226	168	126
8,0	1,094	1,058	1,037	235	172	128
10,0	1,100	1,063	1,0415	246	174	131
13,0	1,109	1,068	1,045	254	177	133
16,0	1,1175	1,073	1,0485	264	182	136
18,0	1,1235	1,076	1,0525	272	184	138
20,0	1,1265	1,078	1,053	275	187	140
22,0	1,130	1,081	1,054	278	190	142
25,0	1,134	1,084	1,056	287	194	145

Примечание: промежуточные значения определяются методом интерполяции.

[a] Усредненные значения для расчета системы отвода продуктов сгорания согласно DIN EN 13384.

[b] При полной нагрузке (100%), содержании 3% O_2 в продуктах сгорания и температуре 102 °C.

Примечание

Упомянутая система не применима в случаях, если:

- температура дымовых газов, отводимых от паровых котлов > 400 °C;
- горелочное устройство для сжиженного газа;
- горелочное устройство с вентилятором, не все паровые котлы установлены в одном помещении.

D.9.4. Общая система отвода продуктов сгорания, объединение потоков дымовых газов

Подключение нескольких паровых котлов в одну систему отвода продуктов сгорания (с учетом DIN EN 12953-7) разрешается только в том случае, когда такой режим эксплуатации допускается конструкцией горелочного устройства котлов, а также выполняются следующие условия:

- параметры установки обеспечивают надежный отвод продуктов сгорания при любом режиме эксплуатации или при любой нагрузке;
- исключается попадание продуктов сгорания в паровые котлы, не находящиеся в эксплуатации, при работе с избыточным давлением, например, благодаря «плотно» прилегающим клапанам дымовых газов;
- обеспечивается постоянное давление в камере сгорания каждого из подключенных паровых котлов в любом режиме эксплуатации;
- минимальная скорость газа согласно DIN EN 13084-1 ($w_{min} \approx 0{,}5$ м/с)

Тем не менее следует избегать подключения нескольких паровых котлов в одну систему отвода продуктов сгорания, поскольку существенное падение нагрузки (например, ≤ 30% нагрузки) может спровоцировать понижение давления в дымовой трубе. При этом дымовые газы не заполнят дымовую трубу полностью и «холодный» воздух может проникнуть в дымовую трубу.

Если подключение нескольких паровых котлов в одну систему отвода продуктов сгорания все же выбрано, следует обеспечить равнонаправленное поступление потоков дымовых газов (соединительные трубы) в так называемый тройник (рис. D.9.4-1).

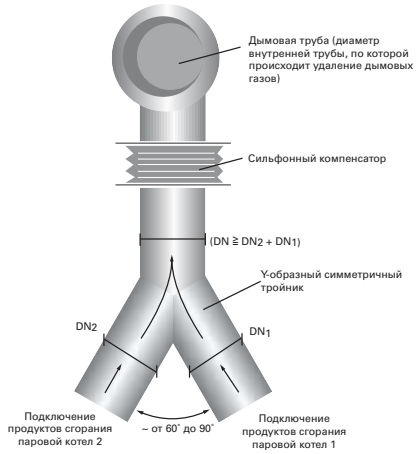
Подключаемая в последнюю очередь дымовая труба (с учетом местных климатических особенностей, параметров дымовых газов и предполагаемых нагрузок) должна обеспечивать бесперебойную эксплуатацию установки.

Для выбранной дымовой трубы необходимо выполнить контрольный расчет внутренней трубы, по которой происходит движение дымовых газов, с учетом DIN 13384 и/или DIN 4705.

Если заказчик предварительно подобрал размеры дымовой трубы, следует учитывать следующее:

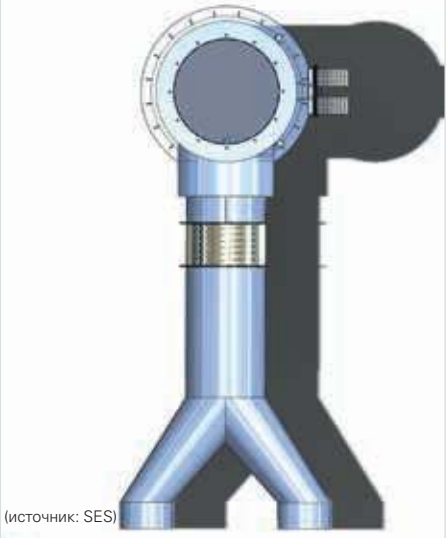
- соответствие уровня шума;
- высоту дымовой трубы от уровня грунта;
- прогнозы эмиссий на стадии проекта.

Рис. D.9.4-1: Y-образный тройник



(источник: SES)

Рис. D.9.4-2: Y-образный симметричный тройник



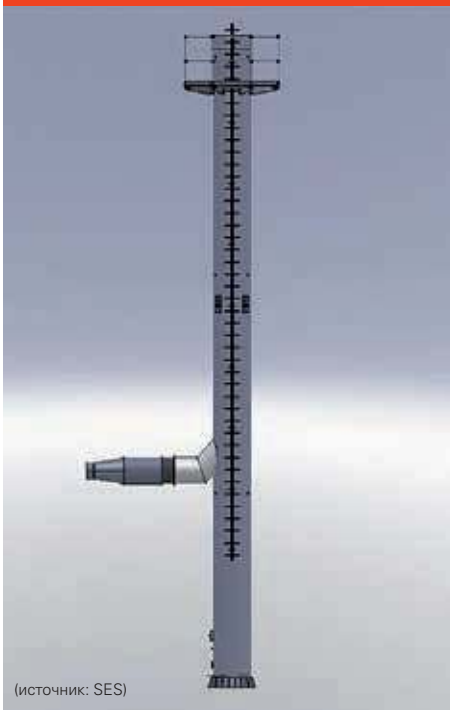
(источник: SES)

Рис. D.9.4-3: Подключение к дымовой трубе



(источник: SES)

Рис. D.9.4-4: Дымовая труба



(источник: SES)

Рис. D.9.4-5: Основание дымовой трубы



Обозначения:

① дымовая труба (внутренний диаметр трубы, по которой проходят дымовые газы ≥ DN)[a)]

② сильфонный компенсатор

③ Y-образный симметричный тройник

DE_1 подключение 1-го парового котла

DE_2 подключение 2-го парового котла

[a)] DN >/= DE_1 + DE_2.



Собственные потребности паровой котельной установки

С учетом информации, изложенной в C.11, ниже будут подробно рассмотрены собственные потребности паровой котельной установки в электрической и тепловой энергии.

Ниже будут представлены рекомендации для расчетов.

D.10.1. Собственные потребности паровой котельной установки в электрической энергии

Электропитание обычно осуществляется в диапазоне от 0,4 кВ до 0,6 кВ и с частотой 50 Гц посредством подключения к центральному шкафу управления.

Обеспечение электроэнергией всех основных потребителей в паровой котельной установке осуществляется от центрального шкафа управления.

Потребность в электропитании, обусловленная потребностью в обеспечении паром, определяется на стадии подготовки проекта. Для обеспечения электроэнергией паровой котельной установки следует подготовить данные в табличной форме, как это показано в D.10.1-1.

Рис. D.10.1-1: Список потребителей электроэнергии

№	Потребители электроэнергии (компоненты)	Кол-во (шт.)	Напряжение (В)	Мощность (ВА)	Управляющий сигнал	Примечание
1.0 Компоненты[a]						
1.1	Горелка Тип:				4- 20 мА	С и/или без преобразователя частоты[b]
1.2	Вентилятор подачи воздуха для горения Тип:					С и/или без преобразователя частоты[b]
1.3	Вентилятор для удаления продуктов сгорания Тип:					С и/или без преобразователя частоты[b]
1.4	Питательный насос Тип:			[c]		С и/или без преобразователя частоты[b]
1.5	Конденсатный насос (открытая система) Тип:			[c]		
1.6	Конденсатный насос (закрытая система) Тип:			[c]		С и/или без преобразователя частоты[b]
1.7	Насосы для жидкого топлива Тип:					
1.8	Предварительный подогрев жидкого топлива Производитель:					Только при применении тяжелого топлива
1.9	Химическая водоподготовка, включая дозирующее устройство Тип:				4- 20 мА	
1.10	Термическая водоподготовка Тип:				4- 20 мА	
1.11	Охладитель стоков Тип:				4- 20 мА	
и т. д.	(при необходимости список в любое время может быть дополнен)					
2.0 Привод[a]						
2.1	Клапан дымовых газов				4- 20 мА	Тип: Производитель:
2.2	Регулирующие вентили питательной воды				4- 20 мА	Тип: Производитель:
2.3	Смесительный клапан пароперегревателя				4- 20 мА	Тип: Производитель: (если имеются)
2.4	Вентиль пара на отопление / задвижка				4- 20 мА	Тип: Производитель:
2.5	Клапан периодической продувки				4- 20 мА	Тип: Производитель:
и т. д.	(при необходимости список в любое время может быть дополнен)					

[a] Все виды агрегатов (моторы, задвижки, вентили и т. п.) и все виды автоматики (переключающая автоматика, регуляторы и переключатели напряжения) должны содержать отметки «вкл.» и «выкл.» или «откр.» и «закр.».

[b] При всех режимах работы с использованием преобразователей частоты следует избегать ответной реакции сети.

[c] Требуется определение необходимой мощности приводов в зависимости от производительности (подачи) (см. D.6.1 – «Насосы питательной воды котла» и D.6.2 – «Конденсатные насосы», а также рис. D.10.1-3).

D.10. Собственные потребности паровой котельной установки

Fig. D.10.1–2 Список потребителей электроэнергии

№	Потребители электроэнергии (компоненты)	Кол-во (шт.)	Напряжение (В)	Мощность (ВА)	Управляющий сигнал	Примечание
3.0 Устройства MSR						
3.1	Паровые котлы				4- 20 мА	Тип:
3.2	Системы сбора конденсата (открытые)					
3.3	Системы сбора конденсата (закрытые)					
3.4	Внешний аварийный выключатель					На входе в помещение установки
3.5	Внешние зонды жидкого топлива					Склад жидкого топлива клиента
3.6	Внешнее предохранительное устройство быстрой блокировки газа					На входе в помещение установки
3.7	Внешнее предохранительное устройство быстрой блокировки жидкого топлива					Склад жидкого топлива клиента
3.8	Внешние замеры эмиссии в дымовых газах					Дымовая труба (если имеется)
и т. д.	(при необходимости список в любое время может быть дополнен)					
4.0 Освещение (выполняется заказчиком)						
4.1	Освещение помещения установки[d]					
4.2	Аварийное освещение помещения установки[d]					
4.3	Вентиляция в помещении установки					В случае необходимости
и т. д.	(при необходимости список в любое время может быть дополнен)					
5.0 Устройства заземления (выполняется заказчиком при необходимости)[e]						
и т. д.	(при необходимости список в любое время может быть дополнен)					

[d] Согласно TRD 403 10, с особой ссылкой на VBG4 «Электрические установки и оборудование».

[e] Согласно TRD 403 11.2, а также DIN 57-185, VDE 0185.

Зависимость ожидаемой электрической мощности (кВт) двигателя насоса от производительности парового котла ($\dot{m}_{FD}$) и рабочего избыточного давления (p_B).

Рис. D.10.1-3: Ожидаемая электрическая мощность

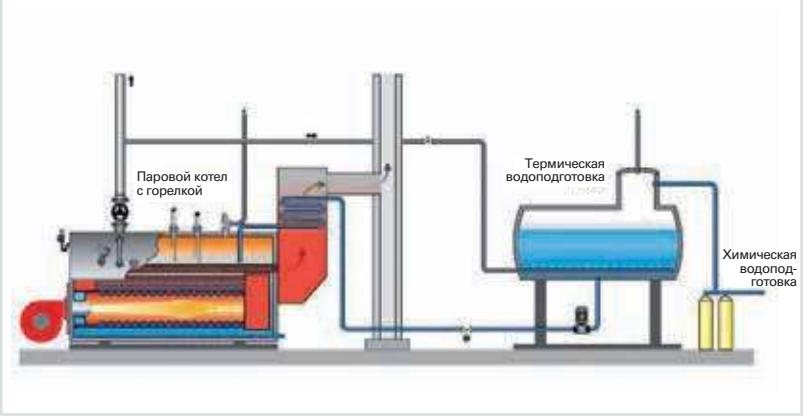
$p_в$	$\dot{m}_{FD}$ в [т/ч]									
бар	**0,7**	**0,8**	**1,0**	**1,3**	**1,65**	**2,3**	**2,9**	**3,8**	**4,0**	**5,0**
6	0,25	0,32	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,40	1,40	1,80
8	0,33	0,42	0,54	0,66	0,82	1,10	1,36	1,80	1,90	2,30
10	0,41	0,53	0,57	0,82	1,10	1,35	1,70	2,20	1,30	2,90
13	0,53	0,70	0,87	1,10	1,33	1,75	2,20	2,90	3,00	3,80
16	0,66	0,84	1,10	1,30	1,64	2,20	2,70	3,60	3,75	4,70
18	0,74	0,95	1,20	1,50	1,85	2,40	3,00	4,00	4,20	5,30
20	0,82	1,05	1,35	1,65	2,05	2,70	3,40	4,50	4,70	6,00
22	0,90	1,20	1,50	1,80	2,30	3,0	3,70	4,90	5,20	6,40
25	1,03	1,30	1,70	2,10	2,60	3,40	4,30	5,60	6,00	7,30

$p_в$	$\dot{m}_{FD}$ в [т/ч]										
бар	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**10,0**	**12,0**	**14,0**	**16,0**	**18,0**	**20,0**	**22,0**	**25,0**
6	2,00	2,50	2,80	3,50	4,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	9,00
8	2,80	3,20	3,80	4,70	5,60	6,60	7,50	8,00	9,00	10,00	12,00
10	3,50	4,10	4,70	5,80	7,00	8,20	9,40	11,00	12,00	13,00	15,00
13	4,60	5,30	6,10	7,60	9,00	10,70	12,20	14,00	15,00	17,00	19,00
16	5,60	6,60	7,50	9,40	11,00	13,00	15,00	17,00	19,00	21,00	23,00
18	6,30	7,40	8,40	10,50	12,70	15,00	17,00	19,00	21,00	23,00	26,00
20	7,00	8,20	9,40	12,00	14,00	16,00	19,00	21,00	23,00	26,00	29,00
22	7,70	9,00	10,30	13,00	15,50	18,00	21,00	23,00	26,00	28,00	32,00
25	9,00	10,00	12,00	15,00	18,00	20,00	23,00	26,00	29,00	32,00	37,00

Принято:

- КПД насосов – 75%;
- коэффициент запаса на обменную мощность – 15%;
- значения производительности округлены.

Рис. D.10.2-1: Принципиальная схема паровой котельной установки



D.10.2. Собственные потребности паровой котельной установки в тепловой энергии

Исходные данные:

- эксплуатация без охладителя выпара;
- эксплуатация без охладителя питательной воды и охладителя щелочного раствора котла;
- эксплуатация с сепаратором непрерывной продувки и использованием отработанного пара;
- удельная теплоемкость конденсата = = 4,19 кДж/кгК или 1,163 x 10^{-3} кВтч/кгК.

Собственные потребности паровой котельной установки в тепловой энергии $Q_{FD/E}$ рассчитывается по формуле:

$$\dot{Q}_{FD/E} = \dot{Q}_{KON} + \dot{Q}_{zu/spw} + \dot{Q}_{BRÜ} - \dot{Q}_{DR}\ [кВт]$$

где:

$\dot{Q}_{KON}$ – собственные потребности паровой котельной установки в тепловой энергии для нагрева возвращаемого конденсата (кВт) до температуры питательной воды (T_{spw}). Определяется по формуле:
$\dot{Q}_{KON} = \dot{m}_{KON} \times c_p\ (T_{spw} - T_{KON})$

$\dot{Q}_{ZU/SPW}$ – собственные потребности паровой котельной установки в тепловой энергии для нагрева подпиточной воды (умягченной воды). Определяется по формуле:
$\dot{Q}_{add/fw} = \dot{m}_{add/fw} \times c_p\ (T_{fw} - T_{add/fw})$

$\dot{Q}_{BRÜ}$ – теплота выпара (кВт) как потери теплоты (пар на выходе из деаэрационной колонки $\dot{m}_{D/B}$). Определяется по формуле:
$\dot{Q}_V = \dot{m}_{S/V} \times (h''_V - c_p \times T_{fw})$

$\dot{Q}_{DR}$ – количество теплоты, возвращаемой из сепаратора непрерывной продувки (кВт). Определяется по формуле:
$\dot{Q}_{DR} = \dot{m}_{D/B} \times (h''_{DR} - c_p \times T_{spw})$

Величина $\dot{m}_{FD/E}$ рассчитывается по формуле:

$$\dot{m}_{FD/E} \times (h''_{FD} - c_p \times T_{spw}) =$$

$$\dot{m}_{KON} \times c_p \times (T_{spw} - T_{KON}) + \dot{m}_{zu/spw} \times c_p \times (T_{spw} - T_{zu/spw}) + \dot{m}_{D/B} \times (h''_{BRÜ} - c_p \times T_{spw}) - \dot{m}_{D/R} \times (h''_{DR} - c_p \times T_{spw})$$

$$\dot{m}_{FD/E} = \frac{c_p \times [\dot{m}_{KON} \times (T_{spw} - T_{KON}) + \dot{m}_{zu/spw} \times (T_{spw} - T_{zu/spw})] + \dot{m}_{D/B} \times (h''_{BRÜ} - c_p \times T_{spw}) - \dot{m}_{D/R} \times (h''_{DR} - c_p \times T_{spw})}{(h''_{FD} - c_p \times T_{spw})}$$

где:

- $\dot{m}_{KON}$ – расход возвращаемого конденсата (кг/ч),
- T_{KON} – температура конденсата (°C),
- T_{spw} – температура питательной воды в деаэраторе как температура насыщения в зависимости от избыточного давления деаэратора (см. табл. 2),
- $\dot{m}_{Zu/SPW}$ – требуемый расход подпиточной воды (расход умягченной воды) (кг/ч), рассчитанное по формуле:

$$\dot{m}_{zu/spw} = \dot{m}_{FD} \times \left(1 + \frac{A}{100}\right) - \dot{m}_{KON}$$

где:

- $\dot{m}_{FD}$ – требуемая паропроизводительность;
- A – требуемый процент непрерывной продувки (%);

- $T_{zu/spw}$ – температура умягченной воды (°C);
- $\dot{m}_{D/B}$ количество выпара как потери пара (на выходе из деаэратора) (кг/ч). Определяется по формуле:

$$\dot{m}_{D/B} = r_{B/M} \times \left[\dot{m}_{FD} \times \left(1 + \frac{A}{100}\right)\right]$$

где:

- $r_{B/M}$ – фактор для определения минимального количества выпара (см. D.7.3), безразмерная величина, диапазон значений от 0,005 до 0,01;

- h''_{D}/E, $h''_{BRÜ}$ – энтальпия пара вторичного вскипания и энтальпия выпара в зависимости от избыточного давления деаэратора ($p_{E/D}$) согласно табл. 2;

- $\dot{m}_{D/R}$ – расход пара вторичного вскипания из сепаратора непрерывной продувки (кг/ч). Определяется по формуле:

$$\dot{m}_{D/R} = \frac{\dot{m}_{F/D} \times (A/100) \times (h'_{A/E} - c_p \times T_{spw})}{(h''_{D/R} - c_p \times T_{spw})}$$

где:

- $h'_{A/E}$ – энтальпия щелочного раствора непрерывной продувки при температуре насыщенного пара (T_s) в зависимости от рабочего давления пара (p_B) из табл. 2 (см. также D.7.2);

- $h''_{F/D}$ – энтальпия пара.

Пример расчета №1

Исходные данные:

Производительность парового котла	$\dot{m}_{F/D}$	= 12 000 кг/ч
Максимальное допустимое избыточное давление	p_B	= 13 бар
Температура пара	T_s	= 195 °C (из табл. 2)
Энтальпия щелочного раствора	$=f(p_B) - h'_{A/E}$	≈ 0,230 кВтч/кг
Температура питательной воды	T_{spw}	≈ 105 °C
Избыточное давление в деаэраторе	$=f(T_{spw}) - p_{E/D}$	≈ 0,25 бар
Пар вторичного вскипания	$= f(p_{E/D})$	
Энтальпия пара вторичного вскипания	$=h''_{D/R} \approx h''_{BRÜ}$	≈ 0,7457кВтч/кг
Энтальпия пара	$f(p_B)\ h''_{FD}$	≈ 0,7743кВтч/кг
Температура умягченной воды	$T_{zu/spw}$	≈ 15 °C
Расход конденсата	$\dot{m}_{KON}$	= 6000 кг/ч
Температура конденсата	T_{KON}	= 85 °C
Непрерывная продувка	A	= 5%
Фактор для определения минимального количества выпара	$f_{B/m}$	≈ 0,0075 [-]

$$\dot{m}_{zu/spw} = \dot{m}_{FD} \times \left(1 + \frac{A}{100} \right) - \dot{m}_{KON}$$

$$= 12\,000 \text{ кг/ч} \times \left(1 + \frac{5}{100} \right) - 6000 \text{ кг/ч} = 6600 \text{ кг/ч}$$

$$\dot{m}_{D/B} = r_{B/M} \times \left[\dot{m}_{FD} \times \left(1 + \frac{A}{100} \right) \right]$$

$$= 0{,}0075 \times \left[12\,000 \text{ кг/ч} \times \left(1 + \frac{5}{100} \right) \right] = 94{,}50 \text{ кг/ч}$$

$$\dot{m}_{D/E} = \frac{\dot{m}_{F/D} \times A/100 \times (h'_{A/E} - c_p \times T_{spw})}{(h''_{D/R} - c_p \times T_{spw})}$$

$$\dot{m}_{D/R} = \frac{12\,000 \times 5 /100 \times (0{,}230 \text{кВтч/кг} - 1{,}163 \times 10^{-3} \times 105)}{(0{,}7743 - 1{,}163 \times 10^{-3} \times 105)} = 99{,}215 \text{ кг/ч}$$

Расход пара для собственных нужд ($\dot{m}_{FD/E}$)
для выбранного примера составит:

$$\dot{m}_{FD/E} = \frac{c_p \times [\dot{m}_{KON} \cdot (T_{spw} - T_{KON}) + \dot{m}_{zu/spw} \times (T_{spw} - T_{zu/spw})] + \dot{m}_{D/B} \times (h''_{BRÜ} - c_p \times T_{spw}) - \dot{m}_{D/R} \times (h''_{D/R} - c_p \times T_{spw})}{(h''_{FD} - c_p \times T_{spw})}$$

$$\dot{m}_{FD/E} = \frac{1{,}163 \times 10^{-3} [6000 \times (105 - 85) + 6600 \times (105 - 15) + 94{,}5 \times (0{,}7457 - 1{,}163 \times 10^{-3} \times 105) - 99{,}25 \times (0{,}7457 - 1{,}163 \times 10^{-3} \times 105)}{(0{,}7743 - 1{,}163 \times 10^{-3} \times 105)}$$

$\dot{m}_{FD/E} \approx 1269$ кг/ч ≙ 10,6% от $\dot{m}_{FD}$

Примечание
При $\dot{m}_{KON} = 0$ (отсутствует возврат конденсата) увеличивается требуемый расход пара для выбранного примера расчета на:
$\dot{m}_{FD/E} = 2018$ кг/ч ≙ 16,8% of $\dot{m}_{FD}$.



Паровая котельная установка
с двумя котлами серии
Vitomax 200-HS,
паропроизводительностью 10 т/ч
каждый, 16 бар, с регулируемыми
пароперегревателями
и подключенными
теплообменниками
отходящих газов.

Город Klaipeda (Litauen / Литва),
Fernheizwerk Klaipedos energija.
Построено в 2007 году.

E. Требования и предписания

В данном разделе рассматриваются требования и предписания.

Речь пойдет о стационарных паровых котлах. Подробно рассматриваются условия установки котлов, общие требования к паровой котельной установке, к помещению установки, а также к зданию в целом.

Кроме того, затронуты вопросы, связанные с уровнем шумов, транспортом, а также с мерами по обеспечению сейсмоустойчивости установки.

253 E. Требования и предписания

254 Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

254 E.1.1. Процедура получения разрешения согласно §13 «Постановления о безопасности» (§13 Betriebssicherheitsverordnung / BetrSichV)
265 E.1.2. Процедура получения разрешения в Германии (обзор)
268 E.1.3. Прилагаемый к заявлению пакет документов (обзор)
271 E.1.4. Состав пакета документов

272 Основные требования к установке паровых котлов

273 E.2.1. Установка стационарных паровых котлов категории IV
273 E.2.2. Установка стационарных паровых котлов категории III (TRD 802)
274 E.2.3. Помещение паровой котельной установки
277 E.2.4. Шумы
278 E.2.5. Транспортировка
279 E.2.6. Обеспечение сейсмоустойчивости установки

Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

E.1.1. Процедура получения разрешения согласно §13 «Постановления о безопасности» (§13 Betriebssicherheitsverordnung / BetrSichV)

E.1.1.1. Общие сведения

В зависимости от размеров или паропроизводительности котельной установки, а значит, и от потенциала ее опасности, для некоторых описанных в §1 абз. 2 BetrSichV установок согласно BetrSichV[a] получение разрешения обязательно. Типы установок, для которых получение разрешения является обязательным, перечислены в §13 абз.1 № 1 – 4 BetrSichV.

Монтаж, установка, эксплуатация, существенные изменения, изменения конструкции или режима эксплуатации, которые влияют на безопасность установки, требуют получения разрешения. При этом получения разрешения требуют как новые, так и уже существующие установки.

В соответствии с BetrSichV паровая котельная установка состоит из нескольких функциональных блоков, которые взаимодействуют друг с другом, и безопасная эксплуатация во многом определяется этим взаимодействием. Некоторое оборудование, необходимое для безопасной эксплуатации котельной установки, также требует получения разрешения.

Поэтому в ходе процедуры получения разрешения паровую котельную установку следует рассматривать как единое целое. Иными словами, рассматривается не какой-то отдельно взятый элемент установки с определенными функциями (например, элемент под давлением), а все элементы, приборы, устройства, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию паровой котельной установки.

Паровая котельная установка в целом может состоять из нескольких подлежащих контролю элементов. Т. е. конкретная установка может являться подконтрольной установкой как с т. з. рисков, связанных с давлением, так и с т. з. рисков, связанных с взрывоопасностью, или рисков, связанных с хранением и дозированием горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. Степень изменения конструкции или режима эксплуатации котельной установки, требующая получения разрешения согласно §2 абз. 6 BetrSichV, может быть столь велика, что рассматриваемая установка может быть отнесена к новому типу. В случае существенных изменений конструкции или режима эксплуатации процедуру получения разрешения следует рассматривать как для новой установки.

Если изменение конструкции или режима эксплуатации (§2 абз. 5 BetrSichV) оказыватт существенное влияние на безопасность установки, процедура получения разрешения распространяется только на измененную часть. При этом следует убедиться в обеспечении безопасности паровой котельной установки в целом.

Монтаж и инсталляция охватывают все виды работ, необходимые для подготовки паровой котельной установки к пуску в эксплуатацию. К ним относят также испытания перед первым пуском котельной установки в эксплуатацию. Надзор и испытания проводятся независимыми специализированными организациями.

Паровыми котельными установками называют устройства для нагрева под давлением (при сжигании топлива или с другим источником теплоты) для производства пара или горячей воды с температурой более 110 °C, которые согласно арт. 9 совместно с приложением II, диаграммой 5, директиве 97/23/EG могут быть отнесены к категории IV.

[a] «Постановление об обеспечении безопасности и охраны здоровья при изготовлении средств труда и их использовании в работе, об обеспечении безопасности эксплуатации подлежащих контролю установок, об организации охраны труда на производстве». Речь идет о так называемом «Постановлении о безопасности» / Betriebssicherheitsverordnung- сокращенно BetrSichV от 27.09.2002 (BGBI. I S. 3777; 25.11.2003 A. 2304; 6.1.2004 S.2; 23.11.2004 S.3758; 25.6.2005 S.1866).

Исключение составляют установки, в которых водяной пар или горячая вода вырабатываются благодаря рекуперации теплоты. Однако если дымовые газы подаются не в установку (котел-утилизатор), где охлаждаются и в результате вырабатываются водяной пар или горячая вода, то такая установка исключением не является. При этом для получения разрешения не важно, было ли устройство под давлением запущено в эксплуатацию как отдельный элемент или как монтажная группа.

Разрешение распространяется на паровую котельную установку в целом. Кроме парового котла, к паровой котельной установке относятся следующие элементы и оборудование (если таковые имеются):

- опорная рама котла, тепловая изоляция и/или обмуровка и облицовка;
- горелочное устройство;
- паропроводы и трубопроводы горячей воды и арматура при условии, что они образуют с паровым котлом единую функциональную систему;
- оборудование в помещении паровой котельной установки для хранения, предварительной обработки и подачи топлива, а также оборудование вне помещения паровой котельной установки для хранения, предварительной обработки и подачи легковоспламеняющегося, а также пылевидного, жидкого и газообразного топлива;
- оборудование для обеспечения парового котла воздухом, включая вентилятор и устройства предварительного подогрева воздуха, обогреваемые дымовыми газами;
- обогреваемые дымовыми газами блокируемые пароперегреватели и промежуточные пароперегреватели, а также находящиеся в помещении установки пароохладители и относящиеся к ним соединительные трубопроводы;
- блокируемые подогреватели (экономайзеры) питательной воды (если они связаны с потоком дымовых газов горелочного устройства), а также питательное оборудование с ведущим к паровому котлу трубопроводом питательной воды;
- оборудование для отвода дымовых газов, включая всасывающее устройство и дымовую трубу или отвод дымовых газов, а также встроенные в систему отвода дымовых газов устройства для уменьшения загрязнения окружающей среды;
- оборудование для поддержания давления и компенсации объема (расширительные баки), оборудование для производства горячей воды, включая соединительные трубопроводы;
- прочее оборудование, призванное обеспечить работу паровой котельной установки;
- оборудование, в котором произведенный пар перегревается или охлаждается и которое полностью или частично расположено в паровом котле, при этом паровой котел рассматривается как емкость, находящаяся под давлением выше атмосферного;
- все системы контроля и безопасности парового котла;
- помещение установки парового котла.

E.1.1.2. Требования к прилагаемым к заявлению документам

1. Основные требования

К заявлению должны быть приложены все необходимые для оценки установки документы. Отсутствие важных документов и связанные с этим повторные запросы ведомства или уполномоченной службы технического контроля (ZÜS) могут привести к увеличению сроков получения разрешения. Неполный пакет документов или экспертные отзывы, не соответствующие условиям аккредитования уполномоченной службы технического контроля (ZÜS), подлежат возврату заявителю.

С точки зрения BetrSichV, требующими получения разрешения установками являются в большинстве своем установки, на которые распространяются положения директив Европейского Союза (относящихся к запуску установок в обращение), или установки, имеющие элементы, на которые распространяются положения директив. См. GPSG абз.1 §2(7).

Сертификат соответствия должен предоставляться только перед запуском установки в эксплуатацию и не является обязательным в пакете документов. Объем предоставляемого пакета документов будет определяться предварительным наличием сертификата соответствия установки или наличием лишь общей информации. Если предоставление сертификата соответствия обязательно только для отдельных элементов паровой котельной установки, а не для установки в целом, то в заявлении необходимо описать совместимость отдельных элементов паровой котельной установки между собой.
Указание конкретного производителя в заявлении не является обязательным. В данном случае достаточно детального описания установки (например, мощность, вид топлива, режим эксплуатации и конструкция), что позволит оценить эксплуатационную надежность установки. Нет необходимости в повторном проведении испытаний, которые предварительно проводились для получения сертификата соответствия.

Как только качество изделия подтверждено сертификатом соответствия на стадии ввода установки в эксплуатацию, в фокусе внимания процедуры получения разрешения оказывается монтаж и эксплуатационная надежность паровой котельной установки. А именно:

- точное место расположения паровой котельной установки: под открытым небом или в помещении;
- безопасность установки (защита от пожара и т. п.) и соответствующие меры техники безопасности (учитывается информация, предоставленная производителем на месте установки как результат проведенного им анализа безопасности установки);
- соотнесение данных производителя и конкретных местных условий;
- режим эксплуатации, например, особые меры техники безопасности или организационные мероприятия в случае временно ограниченного контроля;
- доказательство соответствия отдельных элементов друг другу, если для установки в целом не предоставляется сертификат соответствия.

Заявление должно содержать все данные, которые необходимы уполномоченной службе технического контроля для экспертной оценки или заключительных испытаний перед запуском паровой котельной установки в эксплуатацию (см. раздел 4 или 6). Следует учесть, что экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля формально является частью подаваемого заявления (§13 абз. 2 BetrSichV). При принятии экспертного заключения как части пакета документов все обозначенные дополнительные требования и предложенные мероприятия автоматически становятся составной частью заявления. Процесс согласования между заявителем и уполномоченной службой технического контроля детально описан в C.14.2.4.
Как правило, заявитель и будущий пользователь установки совпадают. Если заявление подается третьим лицом, например, инженерным бюро в качестве услуги для будущего пользователя установки, то к заявлению следует приложить соответствующие доверенности.
В исключительных случаях, когда заявитель не является будущим пользователем установки, необходимо удостовериться в соответствии пользователя всем требованиям. Если пакет документов возвращается заявителю для дополнения, это не является официальным решением, а лишь говорит о том, что процесс приостановлен. При этом не предусматриваются административные расходы.

2. Предоставление плана обеспечения взрывозащиты

Если вследствие проверки безопасности паровой котельной установки (класс опасности материала V с учетом приложения III №1) подтвердилась вероятность образования взрывоопасной среды в критических количествах, то в ходе процедуры получения разрешения необходимо убедиться в существовании необходимой противопожарной и взрывозащиты, даже если требуемый документ о взрывозащите согласно BetrSichV оформляется лишь к моменту ввода в эксплуатацию паровой котельной установки. Прилагаемая к заявлению информация получила название «план обеспечения взрывозащиты». Содержание плана обеспечения взрывозащиты отражено в приложении.

3. Требуемые документы
Состав пакета документов, требуемого для отдельных типов паровых котельных установок, отображен в опросном листе в приложении. В отдельных случаях может возникнуть необходимость в дополнительных документах.

E.1.1.3. Требования к экспертному заключению уполномоченной службы технического контроля (ZÜS)

Экспертное заключение является основой процедуры получения разрешения.
Из экспертного заключения должно следовать, что монтаж, конструкция и режим эксплуатации паровой котельной установки соответствуют нормам.
Информация, обязательная к исполнению, указана в приложении.
Минимальный объем данных, который согласно AKK-RL (3) должно содержать экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля, указан в приложении.
В официальном обосновании BetrSichV сказано: «Перед выдачей разрешения следует воспользоваться услугами уполномоченной службы технического контроля, которая обязана проверить, обеспечивает ли совместная работа элементов паровой котельной установки безупречную работу установки в целом при конкретных условиях эксплуатации».

При подаче заявления следует различать три возможных варианта.
- Случай 1.: Имеется сертификат соответствия для паровой котельной установки в целом.
- Случай 2.: Часть элементов паровой котельной установки имеет сертификат соответствия, часть элементов – нет, но все элементы подчиняются нормам.
- Случай 3.: Часть элементов не подчиняется нормам (как, например, баки для горючих жидкостей).

Различают проверку уполномоченной службой технического контроля при экспертном заключении или при заключительных испытаниях перед запуском в эксплуатацию. Все данные, которые не предоставляются производителем, должны проверяться не позднее, чем при заключительных испытаниях перед запуском в эксплуатацию.

Если устройства под давлением собираются в монтажную группу, то при приемочных испытаниях для каждого отдельного устройства под давлением необходимо предоставить сертификат соответствия. Правильность выбора и монтажа отдельных устройств под давлением проверяется службой технического контроля не позднее заключительных испытаний перед запуском в эксплуатацию паровой котельной установки.

Из экспертного заключения уполномоченной службы технического контроля должно следовать, что по итогам проверки достаточно:
- данных в отношении требований техники безопасности;
  подразумеваются также:
- данные к применяемым материалам
- данные по особым мерам защиты для работников и третьих лиц;
- требований к месту установки (с учетом соседствующих участков);
  подразумевается проверка:
- безопасных расстояний между соседними установками с точки зрения возможных взаимных повреждений, особенно с точки зрения возможности возникновения пожара;
- обеспечения взрывозащиты; особенно важна проверка «плана взрывозащиты», если требуется устройство защитных зон для обеспечения взрывобезопасности согласно приложению 3 BetrSichV, а также соблюдение строительных норм (например, отсутствие проемов в стенах или трапов в зонах);
- обеспечения требуемой защиты от повреждения в зависимости от ситуации на объекте, особенно в отношении движения транспортных средств с учетом их вида и скоростей движения;
- исключения возможности влияния соседних установок как, например, опасность поджога из-за утечки горючих жидкостей или жидкого топлива / дизельного топлива;
- соответствия установки или ее компонентов запланированным режимам работы и предусмотренной форме надзора.

Примечание

Заявление, например: «Не существует препятствий для выдачи разрешения» не соответствует стандарту BetrsichV и поэтому не является достаточным.

E.1. Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

Если установка в целом подвергается экспертизе соответствия неоднократно, то на этой стадии необходимо убедиться в соответствии друг другу и совместимости между собой отдельных элементов паровой котельной установки.

В случае позитивного решения в экспертном заключении следует указать: «В результате проверки ..... приложенного к заявлению пакета документов был сделан вывод, что установка, конструкция и режим эксплуатации ..... установки отвечают требованиям BetrSichV, если дополнительно к указанным в заявлении данным будут предприняты следующие меры: ..... Таким образом, проект удовлетворяет требованиям BetrSichV».

При формулировке экспертного заключения следует принять к сведению следующее: уполномоченная служба технического контроля должна обеспечить эксперту необходимую независимость, иными словами, наблюдательная функция ограничена очень узкими рамками. Данный вопрос будет более подробно рассматриваться в (1) и (2).

При составлении экспертного заключения уполномоченной службе технического контроля не разрешается влиять на проект как инженерному бюро, а его задача заключается по возможности в более точном определении, каким требованиям BetrSichV и технических стандартов уделено недостаточное внимание. Если основные пункты не учтены, то, прежде чем сделать заключение, ZÜS должна потребовать у заявителя предоставления дополнительных данных. Только после этого ZÜS может проверить, достаточно ли принятых мер и соответствуют ли, например, технические условия «Постановлению о безопасности» (BetrSichV). Если существует несколько вариантов обеспечения безопасности (например, обеспечение достаточной защиты), то ZÜS должна оценить, достаточно ли будет предложенного заявителем решения. При этом заявитель может предложить несколько решений и только позже решить, какой вариант будет реализован.

- Не разрешается предъявлять какие-либо требования к качеству установки или элементов установки, если это предусмотрено в процессе оценки соответствия оборудования. Проверка качества уполномоченной службой технического контроля является заключительной.
- ZÜS должна распечатать отдельные предоставленные ей документы, которые она проверила (см. (4)). Скрепление печатью предоставленных документов со стороны эксперта не является обязательным.
- Если возникает необходимость в дополнительном запросе, то ZÜS достаточно озвучить его в установленной форме с указанием основания, не предпринимая каких-либо плановых действий. Воспроизведения текста технических норм недостаточно. Более важным является разъяснение, каким образом требования технических норм можно применить к рассматриваемой установке. Например: «Продувочный трубопровод следует провести на 3 м выше кровли соседнего складского помещения».
- Длинный список документов с текстом, который по сути лишь дублирует изложенную в заявлении информацию, свидетельствует, по меньшей мере, о весьма поверхностной экспертизе.
- В экспертном заключении требования законодательства следует излагать как указание, а не как рекомендацию.
- Согласно (3), как правило, необходима проверка заявленных данных непосредственно на объекте, которую осуществляет уполномоченная служба технического контроля. Необходимо заключение ZÜS об абсолютной пригодности выбранного места установки. В связи с этим осмотр объекта является неотъемлемой частью экспертного заключения.
- В эксперном заключении уполномоченная служба технического контроля должна коснуться всех аспектов риска, связанных с паровой котельной установкой. Если ZÜS, например, по причине своих ограниченных полномочий не в состоянии охватить все аспекты, она должна четко и ясно обратить

на это внимание заявителя.
В этом случае будет привлечена еще одна уполномоченная служба технического контроля, при этом одна из ZÜS должна взять на себя координирующую роль, чтобы не оставить без внимания вопросы «на стыке» двух аспектов (например, риски, связанные с давлением, и защита от взрыва).

- Если предъявляются особые требования к оснащению установки (например, изменение продувочного трубопровода), то это необходимо обосновать (например, этого требуют существующие на объекте условия (которые следует описать)).

1. Общие сведения

Заявление с требуемым пакетом документов и экспертным заключением уполномоченной службы технического контроля (если требуется) в 3-х экземплярах подается в администрацию округа. Если параллельно будет выдаваться разрешение на строительство, то необходимо приложить требуемое количество копий для процедуры получения разрешения на строительство.
Во время предварительных консультаций заявителя следует проинформировать о необходимых документах.
При полной комплектации пакета документов заявитель получает от администрации подтверждение получения. Трёхмесячный срок отсчитывается с даты почтового штампа о получении полного пакета документов.
Если в процессе проверки состава пакета документов обнаружено отсутствие важных для рассмотрения заявления документов, заявителя информируют о необходимости предоставления дополнительных документов, а также о том, что отсчет срока приостановлен. Отсчет срока начнется с момента поступления отсутствующих документов, о чем заявитель в любом случае получит соответствующее уведомление.

Если заявитель реализует большой проект в несколько этапов и подает заявление соответственно только на определенную часть паровой котельной установки, то разрешение на монтаж и установку ограничивается только заявленной частью. В таком случае разрешение на эксплуатацию установки в целом может быть связано только с разрешением на монтаж и установку последней части установки.

2. Экспертиза

Учреждение, выдающее разрешение, не играет роль «высшего экспертного учреждения», иными словами, оно может в полной мере положиться на то, что ZÜS (но лишь в случае, если экспертное заключение является составной частью заявления) всесторонне и квалифицированно проверила прилагаемый к заявлению пакет документов. Однако выдающее разрешение учреждение обязано проверять полноту и содержание заявления. Для этого необходимо иметь соответствующую квалификацию.

О недостатке «прилежания» у заявителя или ZÜS может свидетельствовать:

- противоречивость данных;
- отсутствие или неточность данных о месте установки;
- если ZÜS предлагает неспецифические меры;
- недостаточное описание и оценка возможных угроз (пожар, механические повреждения транспортными средствами).

Если у учреждения, выдающего разрешение, возникают вопросы по форме или содержанию экспертного заключения или, например, ZÜS предлагает мероприятия, никак не связанные с данными поданного заявления, то учреждение в первую очередь обращается к заявителю. С его согласия отдельные вопросы могут быть урегулированы непосредственно между учреждением и ZÜS.

Если все пункты согласованы и трактуются однозначно, то выбранный окончательный вариант в разрешении или в принятом дополнительном условии также должен трактоваться однозначно.

Если после выдачи решения для достижения своих целей заявитель изберет иное решение, то он в любое время без соблюдения формальностей может заявить об изменениях в дополнительном условии. В случае, если это будет учтено, документ-подтверждение должен быть подшит к разрешению. Формального разрешения на изменения не требуется.

Если в ходе дискуссии не удалось решить вопросы, связанные с заявлением или экспертным заключением, заявление с соответствующим обоснованием будет возвращено заявителю для дальнейшей доработки (дополнений и разъяснений).

Перед выдачей разрешения специального слушания заявителя не требуется, если заявление было подано правильно. В противном случае слушание обязательно. В случае несогласия заявителя с отдельными дополнительными условиями, он может запросить изменения. Если условия приняты, это подтверждается письмом, которое подшивается к разрешению.

3. Участие других ведомств и учреждений

Процедура получения разрешения задумана как гибкая процедура. Она касается исключительно обязательных с точки зрения BetrSichV требований техники безопасности установки.

В NRW упомянута ситуация, когда согласно § 63 BauO общее разрешение включает в себя разрешение на строительство. Однако «публично» выступают только выдающие разрешение учреждения, которые и общее разрешение, и разрешение на строительство выдают как один документ. Таким образом, общее разрешение содержит в себе разрешение на строительство как самостоятельную часть.

Что касается участия других ведомств и учреждений, то следует различать два случая:

1) Запрашиваемые изменения в установке или новая установка не затрагивают других отраслей права (например, строительное право; совокупность правовых норм, регулирующих вопросы проектирования; водное законодательство; совокупность правовых норм, регулирующих вопросы охраны окружающей среды). Иными словами, речь идет только о сугубо технических вопросах и вопросах безопасности установки. В этом случае учреждение выдает разрешение без участия других ведомств.
2) Проверка заявления по § 63 ff BauO показала, что требуется разрешение на строительство. Предоставление разрешения на строительство обязательно при превышении паровой котельной установки определенных установленных параметров (например, при хранении газов как части заправочной установки, если емкость имеет объем более 5 м^3). Предоставление разрешения на строительство обязательно при изменении назначения земельного участка. Если однозначно невозможно определить необходимость предоставления разрешения на строительство, необходимо привлечь административный орган по надзору за строительством. Если BauOA подтверждает необходимость предоставления разрешения на строительство, то это решение для учреждения, выдающего разрешение, является обязательным. В таком случае заявитель обязан приложить к заявлению необходимые для проверки BauOA документы.

Уполномоченный административный орган по надзору за строительством получает заявку (с указанием сроков – как правило, это 4 недели – и пакетом необходимых документов) с просьбой о заключении. Иные связанные с законодательством вопросы, которые могут быть затронуты в процессе монтажа и эксплуатации установки (имеется в виду последующая эксплуатация), должны пройти проверку в рамках процедуры получения разрешения на строительство. Необходимость в этом и объем работ определяется BauOA, которая в рамках своих функций также обязана контролировать вопросы, связанные с защитой окружающей среды от вредного воздействия.

Непосредственное привлечение других ведомств не является обязанностью выдающего разрешение учреждения. Содержание и дополнительные условия к общему разрешению и разрешению на строительство должны быть разделены. В части общего разрешения допустимы дополнительные условия, которые касаются только технических требований (конструкция, оборудование или эксплуатация). Дополнительные условия, предложенные BauOA, не могут быть учтены непосредственно в сфере ответственности выдающего разрешение учреждения, а только в части решения, посвященной строительному праву.

Согласно строительному праву допустимо ограничение времени эксплуатации здания или установки, особенно ограничение периода эксплуатации (например, дневного времени), если это необходимо с точки зрения назначения земельного участка (например, в зоне смешанной застройки).

Учреждение, выдающее разрешение, не проверяет корректность предложенных BauOA дополнительных условий. В случае очевидных грубых ошибок рекомендована повторная консультация у BauOA.

Если с целью ускорения процедуры в порядке исключения требуется непосредственное привлечение другого ведомства, то все ответы следует направлять через административный орган по надзору за строительством, поскольку только он вправе судить о допустимости и корректности предложенных ими дополнительных условий. Предложенные дополнительные условия могут быть приняты только в части, касающейся строительного права, и не могут быть приняты под непосредственную ответственность учреждения, выдающего разрешение.

Если в ходе процедуры обнаруживается отсутствие документа из какой-либо иной области права, для заявителя процедура приостанавливается до поступления необходимых документов. При этом заявитель получает уведомление с указанием, что процедура будет возобновлена при получении дополнительных документов. Таким образом, срок в три месяца продлевается на соответствующий период. Подобное законодательное основание можно обнаружить, например, в § 25 разд.1 «Straßen- und Wegengesetz NRW».

Учреждение, выдающее разрешение, проверяет безопасность паровой котельной установки и ее соответствие требованиям охраны труда. При необходимости формулируются дополнительные условия.

В отзывах и экспертных заключениях проверяется, относятся ли требования к корпусу здания или непосредственно к установке. Дополнительные условия, которые по сути дублируют текст закона, во внимание не принимаются.
Увеличение трехмесячного срока возможно только в обоснованных случаях.
Это допустимо, когда BauOA запрашивает документы. Заявитель получает письменное уведомление о продлении сроков на соответствующее количество дней.

Если в ходе проверки документов был сделан вывод о невозможности выдачи разрешения, выдается отклоняющее решение, в котором следует четко заявить о запрете монтажа и установки. Это же справедливо и для заявлений о внесении изменений.

Пользователь и BauOA также получают копии официального ответа.

4. Выдача общего разрешения и разрешения на строительство в одном документе

Существует несколько возможностей.

- Заявитель может предусмотреть определенные решения еще на стадии заявления, например, ограничение времени работы паровой котельной установки. Тогда заявление не будет иметь ограничений.
- Если будущее использование установки на выбранном месте с точки зрения законодательства абсолютно невозможно, заявление может быть обоснованно отклонено. Заявителю не запрещается действовать по своему усмотрению.

5. Разрешение в рамках BImSch-процедуры

Если установка, для которой запрашивается разрешение, является составной частью установки, для которой получение разрешения согласно BImSchG является обязательным, то ответственным за разрешение является не учреждение, а процедурный орган. В данном случае решающими являются процедурные правила по BImSchG и 9. BImSchV. Трехмесячный срок здесь недействителен. Сроки назначаются процедурным органом.

Требования, которые согласно BetrSichV предъявляются к документам для процедуры получения разрешения, также распространяются на документы в рамках BImSch-процедуры (включая экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля). После проверки документов решение отсылается в соответствующее учреждение, выдающее разрешение (соответственно с предложениями для дополнительных условий).

E.1.1.4. Проверка (испытания) перед запуском в эксплуатацию

Перечень испытаний (среди которых также производимые перед запуском в эксплуатацию) изложен в § 15 абз. 2 BetrSichV. Необходимое согласно § 19 абз. 1 BetrSichV свидетельство о результатах проведения проверки (испытаний) согласно AKK-RL (3) должно содержать следующие данные:

- законодательная основа;
- первичные испытания, испытания после внесения изменений, испытания после внесения существенных изменений или испытания после ремонта согласно § 14 BetrSichV;
- периодические испытания согласно § 15 BetrSichV;
- внеочередные испытания согласно § 16 BetrSichV и при необходимости комментарий о проверке паровой котельной установки в целом или только ее части;
- основные данные уполномоченной службы технического контроля (название, почтовый адрес, идентификация как уполномоченной службы);
- данные о пользователе (имя, почтовый адрес);
- данные о технической службе (если требуется);
- место расположения установки (идентификация установки, внутреннее наименование и возможная маркировка установки, а также при необходимости точное описание узловых элементов установки (например, номер заслонки, номер трубопровода или информация о том, что речь идет о части установки);
- дата испытаний и при необходимости период испытаний;
- четкое указание испытателя;
- подпись / штамп испытателя;
- однозначная идентификация свидетельства о прохождении испытаний;
- результат испытаний, при необходимости с указанием недостатков;
- разрешение на запуск в эксплуатацию или на продолжение эксплуатации;
- интервал испытаний.

При проведении испытаний перед запуском в эксплуатацию от испытателя, кроме всего прочего, требуется:

- проверка установки в целом (проверка монтажа и соблюдения требуемых безопасных расстояний);
- если установка была сертифицирована по частям, необходим комментарий о том, что применяемые элементы и монтажные группы соответствуют друг другу, что требуемые по технике безопасности приборы имеются в наличии и их сочетание соответствует актуальному уровню развития техники.
- подтверждение соответствия требованиям к монтажу, установке и эксплуатации;
- подтверждение выполнения данных заявления на получение разрешения, включая экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля, и при необходимости особые дополнительные условия в распоряжении о разрешении;
- предоставление свидетельства о результатах проведения проверки (испытаний) системы защиты от взрыва перед запуском в эксплуатацию (если необходимо) для случая, если ZÜS взрывозащиту сама не проверяет.

Свидетельство о проведении проверки (испытаний) с позитивным результатом включает в себя следующую информацию:

- подтверждение соответствия результатов заявленным данным;
- подтверждение, что выбранной защиты от возможных механических воздействий достаточно при конкретных условиях монтажа;
- подтверждение, что выбранных мер по защите от доступа посторонних лиц достаточно;
- подтверждение, что выдержано необходимое расстояние до возможных источников возникновения пожара или до других источников опасности (например, обеспечено безопасное расстояние до склада с резервуарами жидкого топлива в случае его расположения над поверхностью земли);
- подтверждение предоставления необходимых документов (например, документ, подтверждающий обеспечение взрывозащиты) и инструкции по эксплуатации.

В любом случае ZÜS обязана незамедлительно выдать свидетельство о результатах проведения проверки (испытаний) и передать его пользователю. Это необходимо выполнить в течение одной недели. Ни в коем случае не допускается, чтобы свидетельство было выдано спустя недели или даже месяцы после проведения проверки (испытаний).

Недостающие доказательства необходимо отметить в свидетельстве о результатах проверки (испытаний) и охарактеризовать их (незначительные, опасные, крайне опасные). Также следует указать возможные последствия.

Реализация паровой котельной установки начинается непосредственно с подачи заявления. Важен уровень развития техники к этому моменту. Если в процессе реализации процедуры получения разрешения появились новые научные данные, то выдающее разрешение учреждение может выдвинуть дополнительные условия в свидетельстве о результатах проверки (испытаний). При испытаниях перед запуском в эксплуатацию ZÜS связана с прилагаемым к заявлению пакетом документов и требованиями в свидетельстве о результатах проверки (испытаний).

Если в период между выдачей свидетельства и испытаниями перед запуском в эксплуатацию изменился уровень развития техники и перед проведением испытаний ZÜS обнаруживает, что на момент проведения испытаний имеются определенные отклонения от уровня развития техники, то он может сообщить об этом наблюдательному органу или выдающему разрешение учреждению, которые в свою очередь должны проверить, необходимо ли согласно § 13 абз. 5 п. 2 BetrSichV предъявить дополнительные требования. ZÜS не может декларировать возникшие по причине изменения уровня развития техники дефициты (убытки) как недостатки.

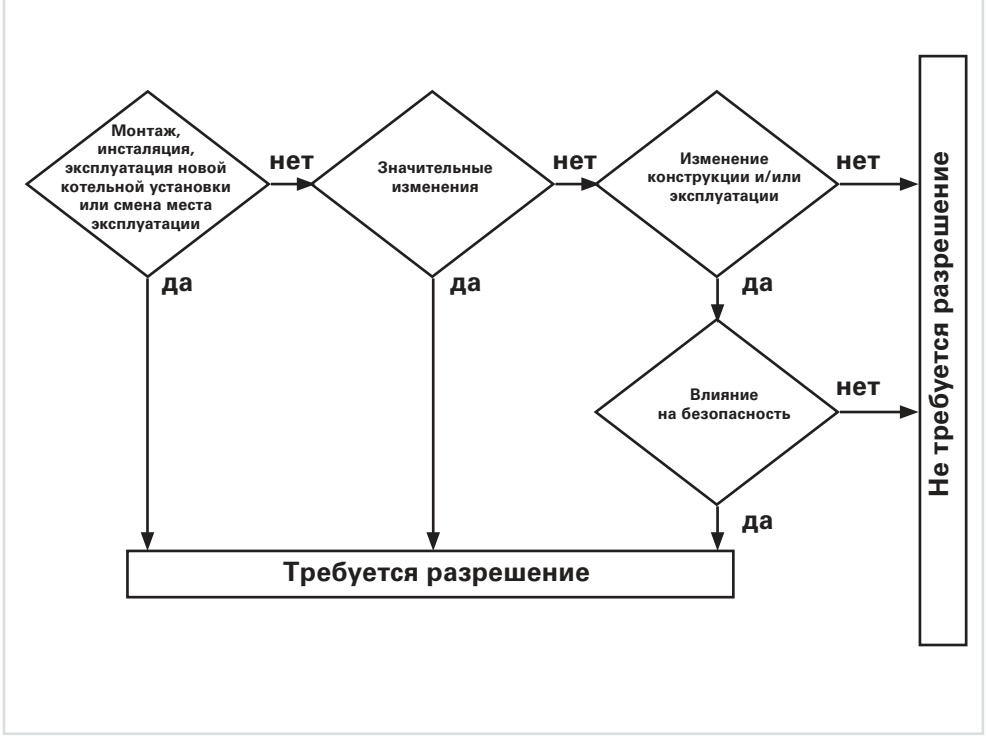
E.1. Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

Как только пользователь к моменту проведения проверки перед запуском в эксплуатацию определил необходимые сроки проверки (испытаний), уполномоченная служба технического контроля (ZÜS) может проводить необходимую проверку установленного срока согласно § 15 абз. 4 BetrSichV наряду с приемочными испытаниями.

Если в рамках экспертного заключения ZÜS рекомендует интервал проверки (испытаний), то пользователь может использовать эти данные в своей оценке срока проверки (испытаний) с точки зрения техники безопасности. Обычно ZÜS высказывает свое мнение только после оценки пользователя с точки зрения техники безопасности, которое, как правило, имеет смысл только после проверки (испытаний) перед запуском в эксплуатацию.

При периодических проверках (испытаниях) ZÜS не обязана подтверждать установленные в начале сроки проверок (испытаний). Но если у неё есть основания для сокращения этих сроков, она сообщает об этом пользователю, который в свою очередь производит новую оценку, которая также подлежит контролю со стороны ZÜS.

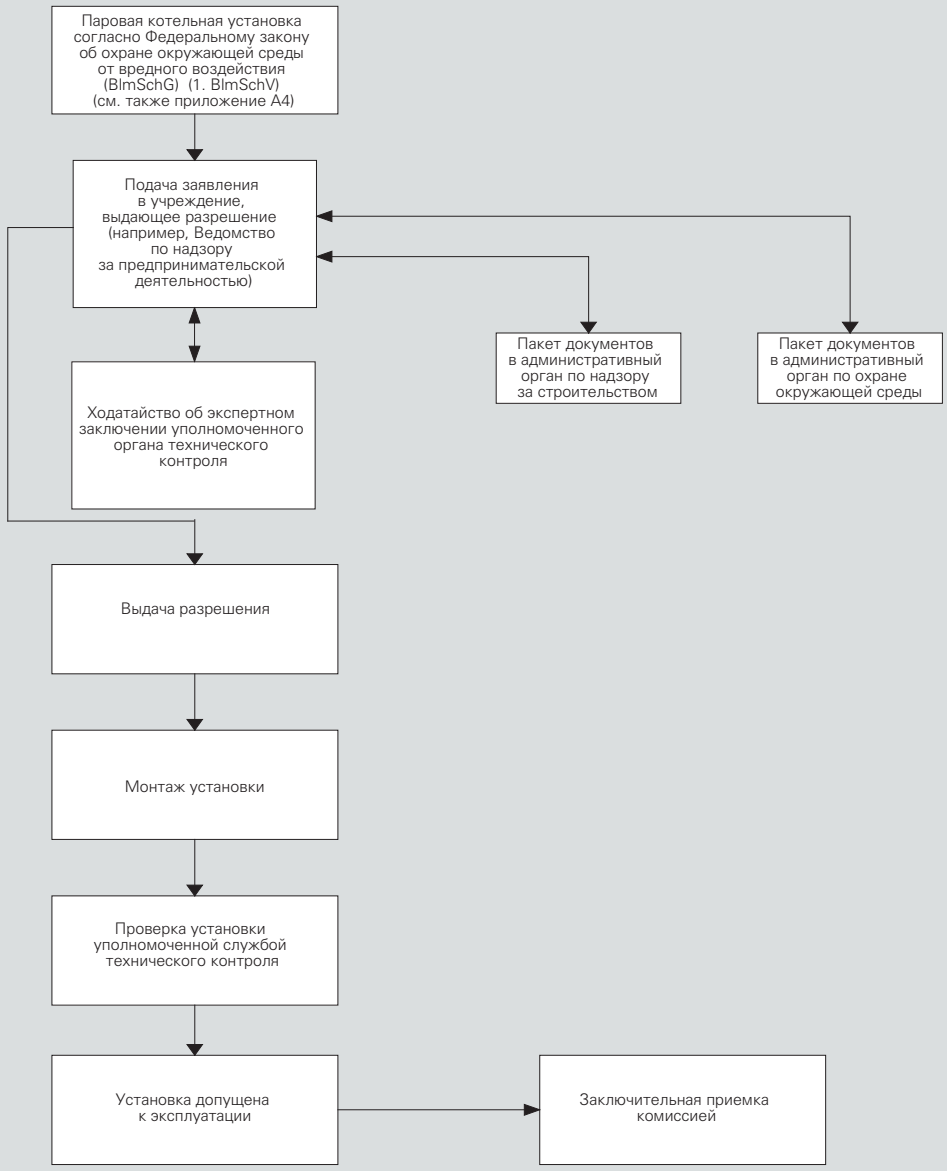
Рис. C.14.3–1: Блок-схема оценки получения разрешения на эксплуатацию котельной установки



E.1.2. Процедура получения разрешения в Германии (обзор)

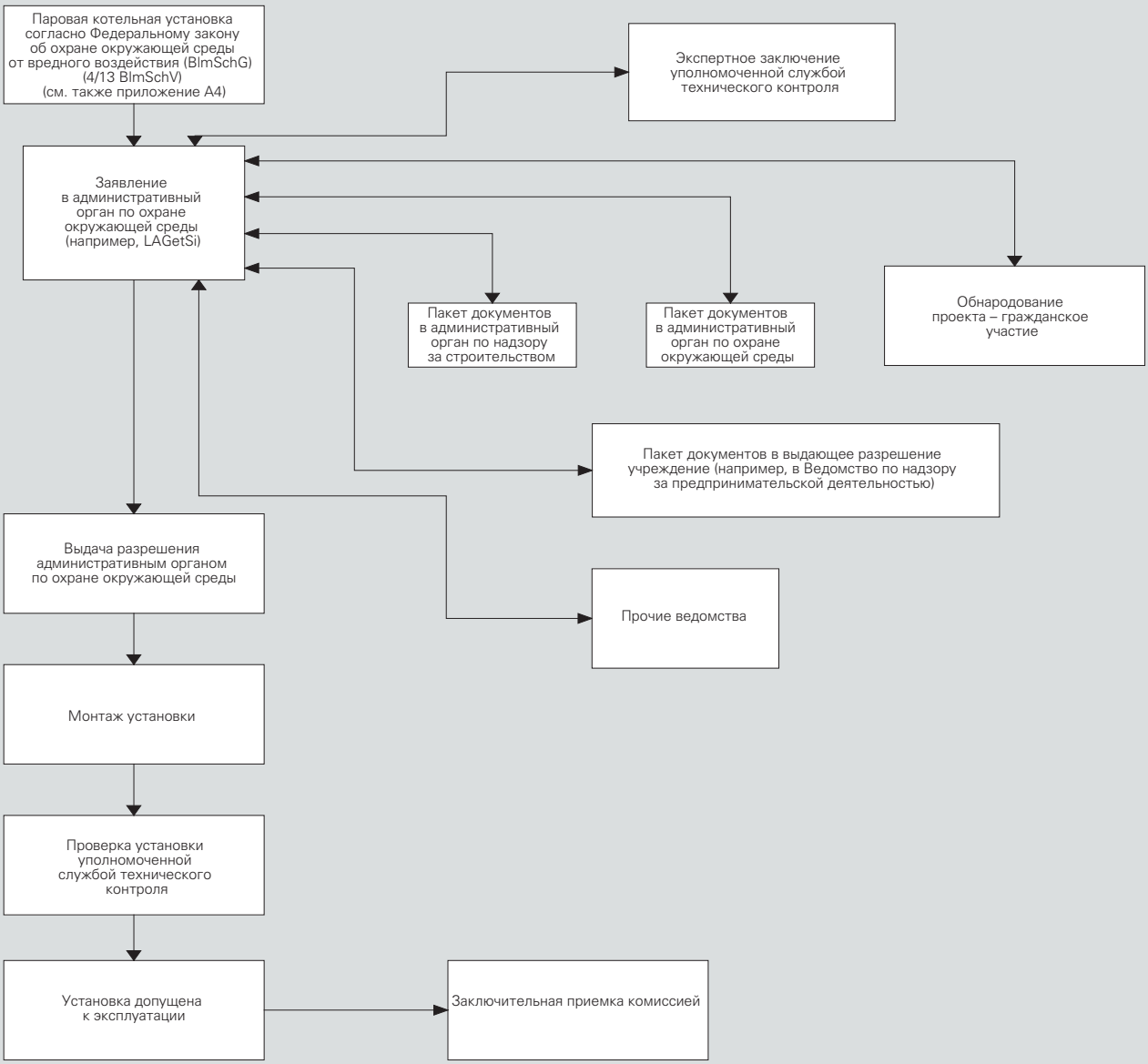
E.1. Основные требования и правила для получения разрешения на эксплуатацию котельной установки

Рис. E.1.2-1: Процедура получения разрешения (обзор)



Обзор процедуры получения разрешения согласно Федеральному закону об охране окружающей среды от вредного воздействия (BImSchG) (Федеральная земля: Берлин). (источник: TÜV Rheinland).

Рис. E.1.2-2: Процедура получения разрешения (обзор)



=> Установки, требующие получения разрешения, согласно Федеральному закону об охране окружающей среды от вредного воздействия (BImSchG).
(источник: TÜV Rheinland).

Обзор процедуры получения разрешения согласно Федеральному закону об охране окружающей среды от вредного воздействия (BImSchG) (Федеральная земля: Берлин).
(источник: TÜV Rheinland).

E.1.3. Прилагаемый к заявлению пакет документов (обзор)

Опросный лист для процедуры получения разрешения согласно Федеральному закону об охране окружающей среды от вредного воздействия.
(источник: Staatliche Umweltamt Krefeld).
По состоянию на 08/2005.

Общие сведения
Приведенный ниже опросный лист позволяет облегчить заявителю работу по подготовке пакета документов для получения разрешения в соответствии с Федеральным законом об охране окружающей среды от вредного воздействия. В данном листе перечислены документы и данные, которые предоставляются в стандартных случаях.

Однако существуют ситуации, когда можно отказаться от подачи определенных документов, в то время как для проведения экспертизы могут понадобиться иные документы. По этой причине в спорных случаях перед подачей заявления рекомендуется подробная консультация соответствующего учреждения, выдающего разрешение.

Следует учитывать следующие общие требования:

- формат документов и их переплет должны соответствовать рекомендациям DIN (особенно DIN 28004). Каждый дополнительный экземпляр заявления необходимо подшить в отдельную папку. Как правило, прилагаются 6 копий заявления;
- все документы для подачи заявления должны быть подписаны заявителем или его законным представителем, проектная документация должна быть дополнительно подписана проектировщиком, а экспертное заключение должно быть дополнительно подписано экспертом;
- заявление в любом случае должно быть подписано заявителем или его законным представителем;
- конфиденциальную информацию необходимо маркировать, а соответствующие документы подавать раздельно.

a) Опросный лист паровой котельной установки

ФИО или название фирмы и адрес пользователя установки	
ФИО или название фирмы и адрес производителя установки (если известно)	
Место расположения установки с указанием адреса (исключение: мобильные паровые котлы)	
Описание паровой котельной установки и предполагаемых режимов эксплуатации, включая схематические изображения конструкции, габаритных размеров и подключений основных приборов безопасности.	
Для элементов паровой котельной установки, которые надлежит использовать согласно Директиве Европейского Парламента и Совета, данные процедуры оценки соответствия (Maschinenrichtlinie 98/37/EG; Druckgeräterichtlinie 97/23/EG; ATEX 94/9/EG, когда вероятно образование взрывоопасных сред), сертификат соответствия (включая список предусмотренных элементов и компонентов) или если оценка соответствия еще не произведена, то данные о параметрах, на основании которых оборудование было подобрано, а также описание узловых элементов.	
Чертежи (горизонтальная проекция и разрез, пути эвакуации): ■ помещение установки, ■ оборудование для хранения топлива, ■ оборудование для отвода дымовых газов, включая дымовую трубу (а также статические расчеты и расчеты высот)	
Общий план: ■ расположение помещения установки, ■ соседние помещения на участке и их назначение, ■ прилегающие территории, постройки, дороги и участки	
Данные о: ■ подаче воздуха и отводе воздуха, ■ путях эвакуации, ■ противопожарной защите	
Экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля (ZÜS), из которого следует, что монтаж, конструкция и режим эксплуатации паровой котельной установки соответствуют положениям BetrSichV.	
Указание общих затрат (включая НДС)	

Особые случаи и отклонения от технических норм следует описать отдельно.
Документацию о конструкции работающего под давлением оборудования и монтажных групп согласно Директиве 97/23/EC прилагать не обязательно. Разрешается применять старые бланки согласно LASI к BetrSichV пункт C.14.1.
Следует отметить, что в зависимости от обстоятельств не все графы могут быть заполнены, а также может возникнуть необходимость в дополнительных данных.

d) Опросный лист экспертного заключения

Согласно AKKRL (3) экспертное заключение уполномоченной службы технического контроля должно содержать как минимум следующие данные:

Закон-основание (например § 13 абз. 2 BetrSichV)	
Основание для составления экспертного заключения	
Данные об уполномоченной службе технического контроля (название, почтовый адрес, идентификационный номер)	
Данные о пользователе установки (название, почтовый адрес)	
Место расположения паровой котельной установки (идентификация установки, внутреннее наименование и возможная маркировка установки)	
Описание объекта с указанием основных компонентов	
Дата экспертизы, дата осмотра места расположения и дата осмотра установки	
Основание для испытаний	
Документы испытаний	
Однозначная идентификация экспертного заключения	
Оценка элементов паровой котельной установки или установки (установок) как единого целого	
Результаты оценки, при необходимости с указанием предложений	
Однозначное изложение заключения, подпись / печать эксперта	

e) Информация для указания в плане обеспечения взрывозащиты

Для взрывоопасных зон в помещениях:
- обозначение помещений;
- отнесение помещений к определенным зонам согласно приложению 3 BetrSichV;
- информация о соответствии электрического и прочего оборудования требованиям приложения 4 BetrSichV;
- информация о требуемых мерах согласно приложению III №1 GefStoffV, например, по предотвращению перебрасывания пожаров.

Для взрывоопасных зон вне помещений:
- отнесение участков под открытым небом к определенным зонам согласно Приложению 3 BetrSichV;
- информация о соответствии требованиям, предъявляемым к зонам под открытым небом (например, отсутствие проемов к расположенным ниже участкам);
- информация о качестве стен, которые ограничивают участки под открытым небом;
- информация о соответствии электрического и прочего оборудования требованиям приложения 4 BetrSichV.

E.1.4. Состав пакета документов

Документы для подачи	**Группа котлов**				
	Количество экземпляров[a]		**Пользователь установки**	**Проектировщик**	**Viessmann**[b]
	III	**IV**			
Описание паровой котельной установки	3	3	X	X	X
Режим эксплуатации паровой котельной установки	3	3	X	X	
Чертежи паровой котельной установки	3	3		X	X
Котельная (горизонтальная проекция)	4	4		X	X
Склад топлива (горизонтальная проекция)	4	4		X	
Система отвода дымовых газов (горизонтальная проекция)	4	4		X	
Дымовая труба (горизонтальная проекция)	4	4		X	
Котельная (поперечное сечение)	4	4		X	
Склад топлива (поперечное сечение)	4	4		X	
Система отвода дымовых газов (поперечное сечение)	4	4		X	
Дымовая труба (поперечное сечение)	4	4		X	
Статический расчет дымовой трубы	3	3		X	
Для чертежей: M 1:100; для планов: M1:1000 – 1:5000					
План помещения установки + соседние помещения с указанием назначения	4	4		X	
План прилегающих территорий, построек, дорог и участков	4	4		X	
Коммутационная схема паровой котельной установки	-	3			X[2b]
Описание горелки / горелочного устройства	3	3			X[2b]

(источник: TÜV Rheinland).
По состоянию на 11/2007.

[a] Минимальный объем.
[b] Если поставщиком элементов паровой котельной установки является VIESSMANN.

Примечание

См. также С.14.

Основные требования к установке паровых котлов

Основные требования
Паровые котлы должны устанавливаться в помещениях, защищенных от промерзания, пыли и влаги. В помещении установки должна поддерживаться температура в диапазоне от 5 до 40 °C. Также следует обеспечить достаточную вентиляцию (подачу воздуха для горения), при этом не допускать содержания в воздухе коррозирующих элементов (например, соединений хлора или галогеновых соединений). Основание должно быть несущим и плоским. При расчете несущей способности основания исходят из максимального эксплуатационного веса, т.е. веса заполненных водой котлов и веса комплектующих. Использование фундамента для установки котлов не обязательно, но для облегчения уборки помещения установки использование фундамента все же рекомендуется.

Нормативные документы
В DDA (Deutscher Dampfkessel Ausschuss, издание февраль 2002 года) описывается «установка и эксплуатация стационарных паровых котлов с CE-маркировкой». Правила в большинстве своем взяты из TRD 403 или для упрощения монтажа из TRD 702 в зависимости от водяного объема и допустимого рабочего давления. Кроме того, следует учитывать местные строительные нормы и инструкции по сжиганию топлива.

С учетом минимальных требований к помещениям для техобслуживания и профилактического осмотра, к путям эвакуации, отводу дымовых газов, хранению топлива и электрическим подключениям определяется, в каких помещениях будут установлены паровые котлы. Не допускается установка паровых котлов высокого давления в помещениях группы IV согласно TRD:

- в, под, над и рядом с жилыми помещениями;
- в, под и над помещениями общественного назначения (это, прежде всего, душевые, раздевалки и комнаты отдыха) и рабочими помещениями.

В инструкциях приводятся упрощенные условия установки в зависимости от водяного объема и допустимого рабочего давления с учетом максимальной паропроизводительности котлов. Нормативные документы предъявляют в этом отношении различные требования, поэтому для каждого конкретного случая рекомендуется консультация соответствующего местного учреждения.

При установке парового котла необходимо учитывать местные строительные нормы. Как правило, не запрещается установка в рабочих помещениях. Следует руководствоваться следующими нормативными документами: TRD 403 (паровые котлы группы IV) и TRD 802 (паровые котлы группы III 11).

E.2.1. Установка стационарных паровых котлов категории IV

Приведенная ниже информация имеет отношение исключительно к установке стационарных паровых котлов (в TRD 403 отмечены маркировкой «L»).

- Пункт 3.1. – Конструктивные требования.
- Пункт 3.2. – Требования к установке.
- Пункт 3.3. – Свободное пространство для техобслуживания и профилактического осмотра.
- Пункт 3.3.1. – Минимальная высота / ширина свободного пространства 2 м / 1 м; ограничение арматурой минимальной ширины до 0,8 м.
- Пункт 3.3.2. / 3.3.3. – Минимальная ширина свободного пространства, не предназначенного для техобслуживания и профилактического осмотра, составляет 0,5 м, при цилиндрическом корпусе котла – 0,3 м (с одной стороны).
- Пункт 3.3.4. – Минимальное расстояние от верхней кромки котла до нижней кромки перекрытия составляет 0,75 м.
- Пункт 3.4. – Доступ к помещениям установки котлов.
- Пункт 4. – Установка котлов в помещениях.:
- Пункт 4.1. – Определение помещений, в которых разрешается установка котлов группы IV (не в, над, под и рядом с жилыми помещениями; не в, над, под помещениями общественного назначения и рабочими помещениями).
- Пункт 4.2. / 4.3. – Исключения для установки котлов под давлением.

Комментарий к пункту 4.3.

1/10 часть площади основания помещения установки должна быть слегка наклонена к внешним стенам или перекрытию (к другим стенам уклона нет).

- Пункт 4.4. – Пути эвакуации и аварийные выходы.
- Пункт 4.4.1. – Необходимо обеспечить беспрепятственный проход в помещение паровой котельной установки через аварийные выходы.
- Пункт 4.4.2. – Для стационарных паровых котлов максимальное расстояние по прямой до выхода – 35 м.
- Пункт 4.4.3. / 4.4.4. – Для помещений паровых котельных установок предусматривается как минимум два выхода, расположенных напротив друг друга.
- Пункт 4.4.5. – Для выхода: ширина в свету составляет 0,6 м, минимальная высота составляет 2 м.
- Пункт 4.4.6. – Двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в направлении выхода, а во время эксплуатации установки открываться снаружи без применения ключа.
- Пункт 4.5. / 4.6. – Проходы от помещения установки паровых котлов к другим помещениям; перегородки и перекрытия, ограждающие от других помещений.
- Пункт 4.7. / 4.8. – Вентиляция помещения установки осуществляется таким образом, чтобы устанавливалось пониженное давление максимально 0,5 мбар.
- Пункт 5. – Установка под открытым небом.
- Пункт 6. – Площадки и зоны обслуживания.
- Пункт 7. – Отвод дымовых газов.
- Пункт 8. – Хранение и подача топлива.
- Пункт 9. – Защита от прикосновения.
- Пункт 10. – Освещение.
- Пункт 11. – Электрическое оборудование и устройства грозозащитного заземления.

Примечание

Изображение помещения установки в разделе G.1 приложения 4.

E.2.2. Установка стационарных паровых котлов категории III (TRD 803)

Пункт 11 – Здесь следует учитывать местные строительные нормы.
Не исключена установка паровых котлов в рабочих помещениях.

E.2.3. Помещение паровой котельной установки

E.2.3.1. Общие требования к зданию, геометрические размеры и строительная физика

Вопросы, связанные с архитектурой и дизайном, здесь не рассматриваются и должны обсуждаться в каждом случае отдельно.

Важно учитывать особые требования к противопожарной безопасности элементов паровой котельной установки согласно DIN 4102 и DIN 13501 с учетом местных строительных норм, что также справедливо для устройства путей эвакуации и аварийных выходов.

Основание и устройство фундамента
С учетом данных экспертного заключения о качестве основания и рекомендуемого устройства фундамента.

Нагрузка
Согласно DIN 1055 или данным о нагрузках агрегатов, транспортных средств и монтажных элементов.

Нагрузка от подвижного состава
Согласно DIN 1055 или VGB-R 602 U «Влияние на конструкции в электростанциях», издание 2005 года.

Конструкция здания
Предпочтительна железобетонная конструкция или стальная фахверковая конструкция из опор, ригелей и соединительных элементов.

Перекрытия
Железобетонные перекрытия, железобетонные совмещенные перекрытия на стальной обшивке.

Кровля
Бетонные перекрытия из монолитного бетона или готовой сборной конструкции.

Для второстепенных зданий по согласованию с застройщиками допускается использование трапециевидного листового металла.

Анфилады зданий
Если этого требуют габариты здания или эксплуатация. Массивные, огнеупорные, в кирпичной (каменной) кладке или железобетоне, с внутренней стороны в качестве декоративной кладки или декоративного бетона.

Тепло- и звукоизоляция
Согласно DIN 4108 / 4109 для стен и кровель, или согласно заключению экспертизы шумов.

Наружные стены
Если не предъявляются более высокие требования:

- поверхности наружных стен в виде двухслойной звуко- и теплоизоляционной облицовки, с внутренней стороны состоящей из горизонтальных самонесущих 60 см стальных кессонов (оцинкованных и покрытых обычной краской). В местах, где требуется шумопоглощение, исполнение с отверстиями;
- тепло- и звукоизоляция из минерального волокна, уложенного плитами в стальных кессонах. С наружной стороны производится вертикальная обшивка трапецеидальными алюминиевыми листами с противопожарным покрытием, цвет согласно RAL, профиль и цвет по желанию застройщика;
- для второстепенных зданий, к которым не предъявляются требования противопожарной защиты, по согласованию с застройщиком могут применяться элементы типа «сэндвич», заключенные с двух сторон в алюминиевые листы, между которыми уложен жесткий полиуретановый слой.

Внутренние стены

- Из силикатного кирпича, необходимой толщины, подобно облицовке, затирка швов (стыков) с двух сторон, если не предъявляются более высокие требования к поверхности стены.

Уплотнение кровли
Для **монолитной кровли**, (например, из железобетона, газобетона и т. п.) рекомендуется:
- рунтовка (битумная);
- пароизоляция V 60 S4 Al 01;
- несгораемая теплоизоляция требуемой толщины, под уклоном;
- слой клейкой ленты (холодная склейка) KSA;
- слой 200 PYE PV S5;
- слой PYP PV 200 S5 EN;
- прослойка из нетканого материала или полиэтиленовой пленки;
- механические крепления, если необходимо;
- гравийная засыпка толщиной от 6 до 8 см из промытого округлого гравия 16/32 мм;
- площадки и пути, предусмотренные для обслуживания и профилактического осмотра, покрываются плитами 50/50/5 см на слое защитных матов.

Для **облегченной кровли** (здание второстепенного значения) рекомендуется:
- трапецеидальные листы перекрытия;
- теплоизоляция из пеностекла требуемой толщины;
- слой Evalon-V.

В качестве защиты от падения с высоты наружные стены следует выполнять подобно аттику минимум 0,3 м выше верхней кромки готовой кровли.

Лестницы, площадки, трапы
При обустройстве лестниц и площадок следует учитывать все возможные виды опасности, и за счет обеспечения достаточного количества эвакуационных выходов снизить до минимума вероятность травмирования персонала.

Особенно важно, чтобы расстояние от запасных выходов до главного эвакуационного выхода не превышало установленных строительными нормами значений.

При этом главный эвакуационный выход должен выводить либо непосредственно на улицу, либо на запасную лестницу. Как правило, предусматриваются два запасных выхода, расположенных по диагонали.

Лестницы, площадки и трапы должны обеспечивать быстрый и удобный доступ:
- ко всем лазам, люкам и отверстиям для очистки;
- к элементам установки, которые требуют регулярного контроля и технического обслуживания;
- к оборудованию, которое обычно или в экстренных случаях управляется вручную.

Трапы предусматриваются в исключительных случаях.

«Проход в свету» над всеми площадками и лестницами должен составлять не менее 2,10 м. Размещение лестниц и площадок следует согласовать с застройщиком.

Мостики, лестницы
Мостики и лестницы, а также запасные выходы, как правило, имеют ширину не менее 1,20 м. Меньшая ширина возможна по согласованию с застройщиком.

Соотношение для лестниц, обязательных согласно строительным нормам:
ч/год ≤ 19/26 см ≤ 36°
Соотношения для прочих лестниц:
ч/год ≤ 20/23 см ≤ 40°
(см. также DIN 18065 и DIN 31003)

Ступени лестниц выполняются из бетонных блоков заводского изготовления с защищающим кромки вбетонированным профилем, препятствующим скольжению, и/или из колосниковой решетки согласно DIN 24531 с нескользящими кромками.

Колосниковая решетка
Согласно DIN 24531: исполнение SP, высота – 40 мм, со стороны ячеек – 30 мм, несущий стержень 40 x 3 мм.

Колосниковая решетка имеет внешнюю раму с углублениями для трубопроводов. Фиксация колосниковой решетки должна осуществляться зажимами в 4-х точках каждого отдельного элемента.

Перила и приставные лестницы
Согласно DIN 24533 из трубы круглого сечения, а поперечина – из стали квадратного сечения.

E.2.3.2. Оснащение

Отопление
Как правило, здание имеет водяную систему отопления. Исключение составляют все помещения с электрощитами, приборами управления, серверные, трансформаторные и помещения установки распредшкафов. Эти помещения, как правило, отапливаются электрокалориферами, настенными или потолочными электрическими воздухонагревателями. В зданиях котельных и в зданиях машинного зала, а также теплоцентралей, где есть пар низкого давления, разрешается применение паровой системы отопления.

Система отопления рассчитывается таким образом, что при минимальных температурах наружного воздуха – 25 °C температура в помещении поддерживалась на уровне + 5 °C. Такой расчет позволит избежать замерзания элементов системы, заполненных водой.

Расчет системы отопления выполняется таким образом, чтобы при стандартной температуре наружного воздуха 12 °C обеспечивалась следующая температура (согласно DIN 4701):

- в помещении установки + 18 °C;
- в рабочих помещениях + 18 °C;
- в офисах и бытовых помещениях + 20 °C;
- в раздевалках и душевых + 24 °C;
- в зонах передвижения, например, лестничных клетках, проездах, а также помещениях, в которых отсутствуют элементы, пропускающие через себя воду, + 15 °C.

Вентиляция
Для вентиляции существующих офисов и бытовых помещений часть внешнего застекления рекомендуется выполнять в виде открывающихся окон (с ветровой защитой). Должна быть обеспечена естественная вентиляция. Если обеспечение вентиляции через оконные проемы не представляется возможным, то естественная вентиляция предпочтительней принудительной или механической вентиляции.

В рабочих помещениях, в которых установлены турбины, котлы, насосы, а также в помещениях аналогичного назначения необходимо предусматривать приточную и вытяжную вентиляцию. Установка систем вентиляции осуществляется по одному из перечисленных ниже критериев, в зависимости от того, какой из упомянутых критериев является наиболее важным для рассматриваемой установки:

- требуемые температуры;
- количество тепла, отдаваемое в помещение;
- количество воздуха для горения.

В остальных случаях выбор вентиляционной установки осуществляется с учетом DIN 1946.

Подбор необходимой для помещения установки «свободной» приточной и вытяжной вентиляции осуществляется с учетом D.3.4.

Технические рабочие помещения,
такие как трансформаторные, помещения установки распредшкафов, помещения с электрощитами, необходимо оснащать собственными вентиляционными установками. Подбор с учетом технических норм, предписаний, DIN, VDI и прочих инструкций.

Если в рабочих помещениях с электрощитами приходится отказаться от охлаждения наружным воздухом из-за его высоких температур и применяется циркуляционное воздушное охлаждение, то следует предусмотреть минимальный объем внешнего воздуха за счет простого воздухообмена.

В помещениях с постоянными рабочими местами, например, в офисах, диспетчерских пунктах, мастерских согласно «Распоряжению об организации рабочих мест» (Arbeitsstättenverordnung / ArbStättV) и DIN 1946 следует предусмотреть систему приточной и вытяжной вентиляции. Согласно ArbStättV, DIN 18228 и DIN 1946 для бытовых помещений, раздевалок, душевых и прачечных система вентиляции обязательна. Согласно DIN 18017 внутренние помещения WC без окон также требуют вентиляционной установки.

Установки для удаления дыма и тепла при пожаре следует предусмотреть на всех участках с учетом возможных нагрузок. Выбор RWA осуществляют с учетом положений DIN 18230 «Baulicher Brandschutz im Industriebau».

Сантехническое оборудование
Монтаж сантехнического оборудования должен осуществляться только силами специализированных монтажных организаций.

Городской трубопровод
Выполняется из меди или в соответствии с директивой WBV (Wasserbeschaffungsverband). Поперечное сечение и исполнение согласно DIN 1988.
Установки горячих бытовых сточных вод соединены с питьевой водой согласно DIN 1988 и выполняются с учетом технического паспорта AD A3.
Водопровод горячей воды
и циркуляционные трубопроводы необходимо изолировать. Толщина изоляции подбирается в соответствии с DIN 18421 и VDI 2055.

Трубопроводы, уложенные под слоем штукатурки, должны быть полностью изолированы и не должны соприкасаться с кладкой постройки.
Все изоляционные материалы должны быть невоспламеняющимися и несгораемыми.

Трубопроводы сточных вод
Должны выполняться в соответствии с DIN 1986. Коллекторы и вертикальные трубопроводы в здании, которые проходят через один или несколько этажей и подают сточные воды основному трубопроводу или коллектору, необходимо комплектовать безмуфтовыми сточными трубами с трубным зажимом AKO-Rapid до DN 100, а при DN 125 и выше – с трубным зажимом CV.

Соединительные трубопроводы между элементами установки следует прокладывать HT-трубами под слоем штукатурки. Выбор размеров осуществляется в соответствии с DIN 1986.

Противопожарное оборудование
Если местные нормы не предписывают иного, как правило, применяют ручной огнетушитель. Необходимо предусмотреть необходимое количество ручных огнетушителей по согласованию с местной пожарной организацией и застройщиком.

E.2.4. Шумы

Источники шума
Под шумом понимают механические колебания и волны в эластичной среде, т. е. в твердых телах (корпусный / механический шум), в воздухе (воздушный шум) и в жидкостях. Эти колебания возникают при определенных частотах (= количеству колебаний в секунду). Органы слуха человека способны воспринимать колебания в диапазоне от 16 Гц (низкие звуки) до 16000 Гц (высокие звуки).

Любой вид звука, который мешает человеку и беспокоит его, называют шумом. С целью защиты человека от воздействия шумов были созданы соответствующие нормы, например, BImSchG, TA-Lärm, DIN 4109, DIN 45680, VDI-Richtlinie 2058.
В зависимости от окружения и времени суток установлены определенные граничные значения, способы замера и процедура оценки шумов.

Основными видами шумов, возникающими в установке, являются:
- шумы при горении;
- шумы от вентилятора горелки;
- корпусные шумы;
- шумы от двигателей насосов.

Воздушный шум, который возникает преимущественно вследствие горения, распространяется от горелки, котла и системы отвода продуктов сгорания. Корпусный (механический) шум возникает вследствие механических колебаний котельной установки и передается преимущественно через фундамент, стены и стенки дымовой трубы. При этом уровень шума может достигать 50 – 140 дБ(А), в зависимости от частоты.

Защита от шума
Шумоизолирующие опоры (прокладки) могут поставляться только до определенного предела нагрузки. Кроме того, поглощение шумов может быть достигнуто только за счет определенных мер непосредственно на объекте, как н-р сооружение фундамента, гасящего колебания.

A) Защита от корпусного (механического) шума
Шумоизолирующие опоры котла позволяют снизить передачу основанию корпусных (механических) колебаний.

B) Защита от шума дымовых газов
Шумоглушители дымовых газов применяются для поглощения шумов, возникающих вследствие горения. Для обеспечения должного эффекта исполнение шумоглушителя подбирается точно в соответствии с комбинацией «котел – горелка – система отвода продуктов сгорания – дымоход». При выборе величины помещения котельной установки следует учитывать размеры шумоглушителей.

C) Компенсаторы дымовой трубы
Компенсаторы дымовой трубы препятствуют передаче корпусных (механических) колебаний от блока «котел – горелка» к помещению через систему дымохода. Кроме того, они способны поглощать тепловое расширение дымовых труб.

D) Шумоизолирующий кожух вентилятора горелки
Шумоизолирующий кожух применяется для изоляции от шумов вентилятора горелки. Иными словами, они служат в основном для снижения шумов в помещении котельной установки.

E) Приточная и вытяжная вентиляция
Приточная и вытяжная вентиляция с шумоглушителем обеспечивает горелку воздухом для горения и препятствует передаче возникающих в помещении шумов через вентиляционные отверстия. Во избежание затрат на дополнительную комплектацию рекомендуется предусматривать защиту от шумов еще на стадии проектирования.

Условием для оптимального решения является тесное сотрудничество архитекторов, застройщиков, проектировщиков и специализированных организаций. Консультантом в вопросах, связанных с защитой от шума, является Ведомство по надзору за предпринимательской деятельностью.

E.2.5. Транспортировка

A) Транспортировка
Котлы с большим водяным объемом могут транспортироваться наземным, водным и железнодорожным транспортом. Упаковку следует выбирать с учетом транспортного средства. Транспортировка осуществляется без особой теплоизоляции.

Для защиты от повреждения при транспортировке таких комплектующих, как горелки, регуляторы и арматура, предусматривается их раздельная комплектация, а также транспортировка. Преимуществом этого являются минимальные транспортные габариты. Монтаж комплектующих производится только после надлежащего монтажа парового котла на объекте.
Чем больше паропроизводительность котла, тем дороже транспортировка. В зависимости от обстоятельств экспедитор должен предусмотреть соответствующий маршрут (например, ограниченная ширина улиц или мостов, несущая способность дорог) и полицейское сопровождение (специальная транспортировка).

На объекте следует обеспечить подъезды к месту установки. Основание должно обладать достаточной несущей способностью (отсутствие подземных баков с жидким топливом или подземных гаражей) и устойчивостью. Также следует предусмотреть дополнительное пространство для перемещения и маневров. Для выгрузки котлов и комплектующих, а также перемещения тяжелого оборудования (горелки, насосы, арматура, шкаф управления и т. п.) в котельной следует предусмотреть соответствующие подъемные устройства.

B) Транспортировка котлов в помещение
Для транспортировки котлов и других компонентов в помещение следует предусмотреть достаточно большой проем. Этот проем может быть предусмотрен в кровле котельной или может быть шахтой. Для снижения затрат пути доставки должны быть по возможности короткими и не стеснять проход посторонними элементами. Следует также учесть несущую способность основания. Подъемные устройства должны быть устойчивыми, соответствующими поднимаемому грузу и высотам, на которые груз поднимается. Для их установки требуется прочное основание.
При определенных обстоятельствах может возникнуть необходимость во временной приостановке движения на подъездах к помещению и прилегающих к нему улицах.

E.2.6. Обеспечение сейсмоустойчивости установки

E.2.6.1. Общие сведения

При проектировании зданий котельных в сейсмоактивных областях очень важно заранее учесть определенные требования по обеспечению сейсмоустойчивости объекта.

Основная задача обеспечения сейсмоустойчивости заключается в управлении, распределении и превращении (в другие виды энергии) энергии колебаний, передаваемой движением основания, что позволяет предотвратить значительные разрушения.

В соответствии с этим следует создать несущую конструкцию как в плане, так и по высоте.

С точки зрения несущей способности и жесткости здания, наряду с вертикальными несущими элементами, большое значение имеют междуэтажные перекрытия – плоские плиты из железобетона, в которых ширина и длина существенно превышают толщину и которые испытывают нагрузки в направлении своего наибольшего размера.

Задачей таких перекрытий является обеспечение общей стабильности здания, предотвращение относительного смещения элементов основания друг относительно друга, что позволяет зданию как единому целому выдержать нагрузку от землетрясения.

Кроме правильно подобранной конструкции, следует также учитывать собственную частоту и способность амортизировать колебания, которые соотносят с нагрузками от землетрясения. Если необходимо, следует предпринять необходимые меры по изменению собственной частоты здания и/или способности к амортизации.
С этой целью могут применяться, например, «защитные элементы» и/или «пружинные или амортизирующие элементы VISCO».

E.2.6.2. Паровые котлы

Котлы, установленные в «сейсмоустойчивой» котельной, следует проверять на способность выдерживать нагрузки от землетрясения. При необходимости следует ограничить влияющие усилия и/или ускорения. Основным условием является установка котлов на сейсмоустойчивом фундаменте.

E.2.6.2.1. Комплектующие котлов

Изложенную в пункте E.1.6.2 информацию можно также отнести и к комплектующим, таким как, например, насосы и термические или химические емкости. Необходимо подтверждение, что емкости для питательной воды, которые обычно устанавливаются на помосте, выдерживают соответствующие нагрузки (расчет статики).

Расчет дымовых труб, даже если они расположены в помещении, должен производиться с учетом их прочности на продольный изгиб. Учитывается ветровая нагрузка при монтажной высоте, а также геодезическая высота места установки.

E.2.6.3. Трубопроводы

Расчет трубопроводов в котельной должен производиться с учетом динамических нагрузок при землетрясении в дополнение к статическим и динамическим нагрузкам при эксплуатации установки.
Трубопроводы имеют незначительную собственную амортизацию, по этой причине динамические импульсы при эксплуатации или влиянии извне, например, при землетрясении, особенно критичны тогда, когда частота влияющих импульсов совпадает с собственной частотой. С целью ограничения подвижности трубопроводов до определенных допустимых величин может возникнуть необходимость в мероприятиях по увеличению амортизационных свойств трубопроводов.
Трубопроводы, проходящие через стены котельной, а это трубопроводы для подачи топлива, продувочные трубопроводы, паропроводы, электропроводка, а также подающие и отводящие водопроводы, должны быть выполнены таким образом, чтобы избежать деформации проходящих в стене элементов, а также трубопроводов.
Независимо от того, насколько корректно и правильно выполнен расчет трубопроводов, для трубопроводов с опасными веществами (пар, жидкое топливо, газ и т. п.) следует предусмотреть экстренное аварийное закрытие, чтобы полностью исключить утечку вредных веществ во внешнюю среду.

E.2.6.4. Проектирование проемов и прорезей в стенах на случай землетрясения

Стены с проемами и прорезями для зданий котельных в сейсмоактивных областях должны рассматриваться как отдельные стены, которые независимо друг от друга имеют меньшее сопротивление сдвигу, чем одна однородная стена.
Электропроводка, а также трубопроводы должны быть спроектированы таким образом, чтобы оказывать как можно меньшее влияние на способность стены сопротивляться сдвигу.

E.2.6.5. Строительные нормы для сейсмоактивных областей

Следует учитывать местные строительные нормы для сейсмоактивных областей.
Для Германии, например, действуют DIN 4149 «Erdbebensicherheit von Massivbauwerken».

Vitomax 200-HS тип M237



2 x Vitomax 200-HS тип M237 (зеркальное исполнение)





SSAO Servolux, Литва,
три котла Vitomax 200-HS 4 т/ч, 13 бар.

F. Эксплуатация

В данном разделе будут рассмотрены режимы эксплуатации, а также законодательная база, относящаяся к эксплуатации паровых котельных установок в Германии.

Основными документами, регулирующими эксплуатацию паровых котельных установок в Германии, являются:

1. «Постановление об обеспечении безопасности и охраны здоровья при изготовлении средств производства и их использовании в работе, об обеспечении безопасности эксплуатации требующих контроля установок, об организации охраны труда на производстве».

Сокращенное название:
«Постановление о безопасности»
Betriebssicherheitsvorschrift / сокращенно
BetrSichV от 27.09.2002.

2. «Правила для производственной безопасности (безопасности эксплуатации)»
TRBS.

283 F. Эксплуатация

284 Режимы эксплуатации

284 F.1.1. Режимы эксплуатации
286 F.1.2. Законодательная база
287 F.1.3. Сроки проведения осмотров согласно DGRL



Режимы эксплуатации

Различают несколько вариантов эксплуатации паровых котельных установок высокого давления.

F.1.1. Режимы эксплуатации

1. Эксплуатация при постоянном присутствии обслуживающего персонала

При данном режиме эксплуатации работа котла постоянно контролируется обслуживающим персоналом.
При этом автоматическое оборудование для регулирования уровня котловой воды и давления не требуется, так как соответствующие функции выполняются обслуживающим персоналом.

2. Эксплуатация при периодическом присутствии обслуживающего персонала

Обслуживающий персонал обязан каждые два часа контролировать безупречность работы котельной установки. При этом котел должен быть оснащен оборудованием для регулирования уровня котловой воды и давления.

3. Временная эксплуатация при пониженном рабочем давлении без присутствия обслуживающего персонала

Паровой котел эксплуатируется при пониженном давлении 1 бар.
Для такого режима эксплуатации необходимо дополнительное оснащение котла (предохранительный клапан, регулятор давления, ограничитель давления, манометр).

4. Эксплуатация без постоянного присутствия обслуживающего персонала свыше 24 часов (BosB 24h)

Паровой котел должен работать в полностью автоматическом режиме и оснащаться двумя автоматическими предохранительными устройствами для ограничения уровня воды в котле. Горелочное устройство с дополнительными предохранительными устройствами должно быть в любом случае разрешено для BosB.

5. Эксплуатация без постоянного присутствия обслуживающего персонала свыше 72 часов (BosB 72h)

В дополнение к предыдущему пункту необходимо ограничение уровня котловой воды с помощью отдельного коммутирующего усилителя. Также необходимы ограничитель максимальной электропроводности котловой воды и оборудование для контроля качества воды (дополнительная вода, конденсат). К шкафу управления предъявляются дополнительные требования.

Режимы эксплуатации, описанные в пунктах с 1 по 3, на сегодняшний день практически не актуальны.

Благодаря совершенной конструкции и надежности предохранительных устройств для новых установок выбирают режим эксплуатации BosB 24 часа или BosB 72 часа. При этом предпочтение все больше отдается режиму BosB 72 часа. Условия для применения данного режима описаны ниже.

Обслуживающий персонал обязан осуществлять предусмотренный инструкциями контроль установки и результаты контроля заносить в эксплуатационный журнал, заверяя их своей подписью. Наличие часового механизма для контроля интервалов проверок не является обязательным.

Дополнительно раз в полгода силами специализированной фирмы (например, сервисной службы компании VIESSMANN) следует производить контроль регуляторов и предохранительных устройств, которые не подлежат регулярному контролю со стороны обслуживающего персонала.

При таких установках к служебным обязанностям обслуживающего персонала добавляется проведение технического облуживания, что предусматривает повышенные требования к квалификации персонала по сравнению с обслуживанием более простых установок.

Применение современных щитов управления (например, свободно программируемых контролеров) позволяет осуществлять контроль за работой котла непосредственно из диспетчерского пункта, откуда также возможно осуществлять управление котельной установкой. Кроме того, при использовании двухтопливных горелок возможно автоматическое переключение с одного вида топлива на другой. Деблокировка вышедшего в аварию котла возможна только непосредственно на котле.

Примечание (для Германии)

Постановление об изменении BetrSichV от 18.12.2008 предписывает, что до 31.12.2012 все технические правила, которые по причине введения директивы 97/23/EG Европейского Парламента и Совета (DGRL) больше не обновляются, теряют свою силу. Это значит, что новые TRBS должны заменить старые TRD не позднее этой даты. Требования к качеству регулируются EN.

F.1.2. Законодательная база

Основным документом, регулирующим эксплуатацию установки, для Германии является BetrSichV. В §12 говорится, что эксплуатация установок должна осуществляться в соответствии с TRBS (Technische Regeln für Betriebssicherheit) – «Техническими правилами для обеспечения безопасной эксплуатации», созданными при Федеральном министерстве по вопросам труда (Bundesministerium für Arbeit / BMA).

Однако на сегодняшний день существует лишь неполная версия TRBS, поэтому согласно переходной норме для паровых котлов все еще действительны TRD. Для новых установок эксплуатация допустима только после успешных предварительных испытаний. Для котлов категории III и IV эти испытания должна проводить уполномоченная служба технического контроля (ZÜS), позитивное решение должно подтверждаться документально.

Условием для запуска котельной установки в эксплуатацию является наличие квалифицированного персонала. Для установок высокого давления речь идет о персонале, обученном в соответствии с утвержденной BMA учебной программой (реализуемой обычно при TÜV). Также речь идет и о персонале, обладающем необходимой квалификацией.
В работе важно руководствоваться «Инструкцией по эксплуатации», которая должна содержать всю необходимую для обслуживающего персонала информацию по эксплуатации, техническому обслуживанию и управлению котельной установкой. Здесь важен перечень действий, которые необходимо производить над определенными элементами котельной установки, с указанием времени их проведения (см. «Инструкцию по эксплуатации и сервисному обслуживанию» для котла Vitomax 200-HS).

Для каждого котла обязателен эксплуатационный журнал, в который заносят результаты всех осмотров, заверенные подписью исполнителя. Журнал является свидетельством надлежащей эксплуатации и технического обслуживания котельной установки и предъявляется по первому требованию экспертов и соответствующих контролирующих органов.

Согласно §3 BetrSichV работодатель обязан составить перечень потенциальных опасностей, в ходе чего определяются все виды потенциальных опасностей, которые могут возникнуть вблизи паровой котельной установки. Цель: предоставление безопасного оборудования и оценка средств труда.

Паровые котлы высокого давления категории III (продукт в литрах при максимальном допустимом давлении в барах – более чем 1000) и IV подлежат периодическому осмотру силами уполномоченной службы технического контроля (ZÜS).

Согласно §15 BetrSichV пользователь установки обязан в течение шести месяцев после запуска установки в эксплуатацию сообщить соответствующим инстанциям определенные им сроки проведения осмотров. ZÜS обязана проверить полученные сроки. В случае разногласий между пользователем и ZÜS окончательное решение по срокам принимает соответствующая инстанция.

Отправной точкой для сроков проведения осмотров служат данные производителя котлов, который высказывает свои предложения в сертификате соответствия.

Согласно BetrSichV максимальные сроки устанавливаются для:
- внешнего осмотра – 1 год;
- внутреннего осмотра – 3 года;
- контроля прочности – 9 лет.

Увеличение сроков недопустимо.

F.1.3. Сроки проведения осмотров согласно DGRL

Для определения сроков проведения осмотров компания VIESSMANN руководствуется положениями TRD, DIN, DIN EN.
Мы, как производитель, предлагаем для нашего оборудования следующие сроки[a)]:

- **Через 6 месяцев** – осмотр квалифицированным специалистом, которым может быть представитель сервисной службы компании VIESSMANN (объем работ такой же, как и при ежегодном осмотре).
- **Через 1 год** – внешний осмотр силами уполномоченной службы технического контроля (ZÜS): все приборы безопасности, предохранительные клапаны, регулирующие и предохранительные устройства, состояние болтовых соединений, состояние установки в целом, профессиональная квалификация персонала, эксплуатационный журнал. Котел может находиться в рабочем состоянии.
- **Через 3 года** – внутренний осмотр силами уполномоченной службы технического контроля (ZÜS). При этом испытывается котел, и проверяются все элементы газового и водяного тракта.
- **Через 9 лет** – контроль прочности (гидравлические испытания) силами ZÜS.

Основываясь на нашем сертификате соответствия, пользователь предлагает инстанциям описанные выше сроки. Эксперт уполномоченной службы технического контроля соглашается или требует более коротких сроков. До настоящего момента у VIESSMANN и наших клиентов проблем не возникало.

F.1.3.1. Требования к периодическому осмотру в соответствии с TRD 505 – внешний осмотр

A) Область применения
TRD 505 действительны для внешнего осмотра всех паровых и водогрейных котлов высокого давления серии Vitomax, имеющих следующие параметры:
TS > 120 °C, PS > 1 бара, которые применяются как стационарные котлы для производства горячей воды высокого давления или пара.

B) Сроки проведения осмотра
Сроки указаны в сертификате соответствия для каждого типа котла (например, котел серии Vitomax 200-HS тип M75A, рис. C.14.1-3). Отсчет срока начинается с даты запуска установки в эксплуатацию. Если сроки внутреннего осмотра совпадают со сроками внешнего , внешний осмотр должен производиться по окончании внутреннего.

C) Объем работ при внешнем осмотре
Периодический внешний осмотр паровой котельной установки охватывает паровые котлы и комплектующие, т. е. все необходимые для эксплуатации котельной установки элементы.

[a)] см. также приложение раздел G табл. 10.

D) Проведение периодического внешнего осмотра

При проведении внешнего осмотра, например, проверке функциональности установки, работа котла приостанавливается. При этом не следует допускать возникновения опасных критичных состояний. Пользователь установки обязан сообщить о существующих дефектах, повреждениях, а также нестандартных ситуациях, возникших за рассматриваемый период.
Соответствие установки обычно проверяется с учетом перечисленных ниже пунктов, при этом установка осматривается в присутствии пользователя или его представителя.

D.1) Оценка общего состояния установки

Осмотр доступных при работе котла элементов установки и расширительных баков, осмотр топки через гляделку, оценка состояния облицовки, теплоизоляции, соединений, смотровых окошек, обнаружение негерметичных участков, мест образования конденсата, изменения окраски и возникающих колебаний:

- горелочного устройства и подачи топлива, оборудования для создания запаса и хранения, воздухопроводов, оборудования для предварительного подогрева воздуха, каналов дымовых газов и шумоглушителей дымовых газов;
- трубопроводов для питания, паропроводов, трубопроводов горячей воды, опорожнения и канализации.

D. 2) Оценка предохранительных устройств газового и водяного тракта

Оценка функциональности устройств для ограничения уровня котловой воды, давления и температуры, а также тех регуляторов, которые обладают предохранительными свойствами:

- готовность к работе питательных насосов;
- готовность к работе сетевых циркуляционных насосов;
- готовность предохранительных устройств, защита от превышения давления: давление срабатывания. Функция: защита от изменения настроек;
- готовность оборудования для поддержания давления в водогрейных котлах. Осмотр точек подключения и проверка переключателей;
- готовность предохранительных устройств обратного потока, запорной и спускной арматуры.

D. 3) Оценка функциональности элементов горелочного устройства

- элементов топливных емкостей;
- предохранительных устройств оборудования для предварительного подогрева жидкого топлива;
- трубопровода и оборудования для подачи топлива, включая арматуру для легковоспламеняющегося, жидкого и газообразного топлива;
- запорных предохранительных устройств, проверка герметичности и устройств контроля герметичности;
- горелок, запорных и исполнительных механизмов, предохранительных устройств при нехватке воздуха, устройств розжига, устройств контроля пламени, устройств регулирования подачи топлива / воздуха для горения, ведущих к отключению предохранительных устройств, с учетом возможных режимов эксплуатации, времени срабатывания предохранительных устройств, времени обслуживания, времени промывки и времени розжига;
- смотровых окошек для топки, облицовки и состояния пламени;
- устройств для регулирования давления в топке.

D. 4) Электрическая цепь предохранительных устройств

Электрическая цепь предохранительных устройств паровой котельной установки проверяется на наличие таких ошибок, которые при проверке функциональности элементов установки не обнаруживаются.

D. 5) Режим эксплуатации

Проверка качества питательной и котловой воды, а также дополнительного оборудования для эксплуатации при ограниченном присутствии и постоянном присутствии персонала.

D. 6) Обслуживание

Проверка наличия соответствующих «Инструкций по эксплуатации» и подготовка обслуживающего персонала.

E) Протокол осмотра

Проверяющее лицо составляет протокол о проведении осмотра (см. EN 12953-6, приложение C) и при обнаружении недостатков проводятся мероприятия по их устранению.

F.1.3.2. Требования к периодическому осмотру в соответствии с TRD 506 – внутренний осмотр

A) Область применения

TRD 506 действительны для внутреннего осмотра всех паровых и водогрейных котлов высокого давления серии Vitomax, имеющих следующие параметры: TS > 120 °C, PS > 1 бара, которые применяются как стационарные котлы для производства горячей воды высокого давления или пара.

B) Сроки проведения осмотра

Периодический внутренний осмотр производится каждые **3 года**[1)]. Отсчет срока начинается с даты запуска установки в эксплуатацию. Если паровой котел не был в эксплуатации более двух лет, то перед его запуском необходимо произвести внутренний осмотр.

C) Объем работ при внутреннем осмотре

Периодический внутренний осмотр котельной установки охватывает паровые котлы и устройства предварительного подогрева питательной воды.
К паровому котлу относят все связанное с ним оборудование, включая запорное оборудование. Это не относится к элементам подающего, выходного и сливного трубопроводов, которые могут быть заблокированы паровым котлом. Это также не относится к элементам, в которых перегревается производимый пар и которые могут быть заблокированы паровым котлом. Исключение составляют случаи, когда названные элементы полностью или частично располагаются в емкости, которая является частью парового котла.

Рис. F.1.3.2-1: Сроки проведения периодического внутреннего осмотра в отдельных странах Евросоюза

	Германия	Франция	Бельгия	Италия	Люксембург	Нидерланды	Великобритания	Испания
Сосуд под давлением	5	1,5- 3	1- 3	1- 2	5	4	2,17	3
Паровой котел	3	1,5	1	2	1,5	2	1.17	1

[1)] В зависимости от страны.

D) Проведение периодического внутреннего осмотра

Периодический внутренний осмотр представляет собой визуальный контроль, который при необходимости может осуществляться с применением соответствующих вспомогательных средств (таких как эндоскоп), которые могут быть дополнены применением дополнительных простых методов, таких как замер толщины стен или проверка поверхностных разрывов.

Если есть подозрение о наличии повреждений, которые не могут быть обнаружены с помощью описанных выше методов, то необходимы дополнительные мероприятия, выходящие за рамки стандартных. Как правило, это дополнительная проверка давления воды, ультразвуковые испытания, проверка материалов, проверка поверхностных разрывов и химический анализ отложений.

D.1) Периодический внутренний осмотр:

Обшивка котла и основание котла, дымовые трубы, жаровая труба и т. п. осматриваются со стороны газового и водяного тракта (если доступны), особое внимание уделяется сварным и болтовым соединениям, анкерам (угловым анкерам, стяжным болтам и т. п.), патрубкам, трубным соединениям, креплению и состоянию внутренних элементов, крышкам лазов и смотровым отверстиям.

Производится оценка опор. Стенки со стороны дымовых газов и пламени, а также наружные стенки осматриваются (если в этом есть необходимость и это возможно), особенно жаровые трубы, патрубки, крышки лазов, смотровые окошки. Для осуществления этого осмотра удаления изоляции котла не требуется.

Фитинги и арматура осматриваются с внешней стороны, при этом особое внимание уделяется сварным швам, отбортовкам, подвесам и опорам. Корпуса регуляторов уровня воды и ограничителей уровня воды осматриваются также с внутренней стороны. Для прочей арматуры действительны положения, изложенные в следующем разделе.

Устройства предварительного подогрева питательной воды осматриваются со стороны дымовых газов, а со стороны воды только тогда, когда имеются разъемные затворы. Особое внимание уделяется коррозии как следствия понижения ниже температуры росы.

E) Протокол осмотра

Проверяющее лицо составляет протокол о проведении осмотра (см. EN 12953-6, приложение C) и при обнаружении недостатков проводятся мероприятия по их устранению.

F.1.3.3. Требования к периодическому осмотру в соответствии с TRD 507 – контроль давления воды

A) Область применения
TRD 506 действительны для внешнего осмотра всех паровых и водогрейных котлов высокого давления серии Vitomax, имеющих следующие параметры: TS >120 °C, PS > 1 бара, которые применяются как стационарные котлы для производства горячей воды высокого давления или пара.

B) Сроки проведения осмотра
Периодический контроль давления воды осуществляется, как правило, каждые **9 лет**[1]. Отсчет срока начинается с даты запуска установки в эксплуатацию.

B.1) Объем работ при периодическом контроле давления воды
Периодический контроль давления воды охватывает паровые котлы и устройства предварительного подогрева питательной воды.

C) Проведение периодического контроля давления воды
C.1) Величина испытательного давления
Величина испытательного давления не должна превышать величину давления при первичном контроле давления воды:
- для котла Vitomax: см. табличку котла[2];
- для котла Turbomat: см. чертеж.

При предварительном подогреве воды дымовыми газами величина испытательного давления равна величине испытательного давления соответствующего котла.

C.2) Нагнетание испытательного давления и время его поддержания
Испытательное давление должно нагнетаться в присутствии эксперта при условии, что испытываемые элементы находились перед этим под рабочим давлением. Если производитель не указывает иного, скорость изменения давления не должна превышать **10 бар в минуту до достижения 75% величины испытательного давления, а затем 1 – 2 бара в минуту**.

Испытательное давление необходимо поддерживать в течение **получаса**, только после этого эксперт может начать испытание элементов под давлением. Испытательное давление контролируется с помощью манометра.

Если величина испытательного давления не превышает 42 бара для котлов и элементов установки, то давление необходимо поддерживать в течение всего испытания. Если величина испытательного давления превышает 42 бара, то давление перед испытаниями следует опустить до величины допустимого рабочего давления, но не ниже 42 бар. При понижении давления скорость изменения давления должна соответствовать скорости нагнетания давления.

C.3) Требования к воде
Применяемая для испытаний вода не должна содержать грубых примесей. С учетом условий эксплуатации не допускается содержание разрушающих или загрязняющих стенки компонентов. Температура воды при испытаниях не должна превышать 50 °C.

C.4) Осмотр стенок
При осмотре находящихся под давлением элементов особое внимание следует уделить наличию трещин, недопустимых деформаций или нарушению герметичности. Выборочный осмотр допускается тогда, когда на основании такого осмотра эксперт может сделать заключение о техническом состоянии испытываемых элементов. При обоснованном подозрении о наличии повреждений допустимо снятие теплоизоляции в необходимом объеме.

D) Протокол осмотра
Проверяющее лицо составляет протокол о проведении осмотра (см. EN 12953-6, приложение C), и при обнаружении недостатков проводятся мероприятия по их устранению.

[1] Следует учитывать специфичные для страны требования.
[2] Таким образом, удовлетворяются требования TRBS 1201.



Vitomax 200-HS, 26 т/ч, Австрия.

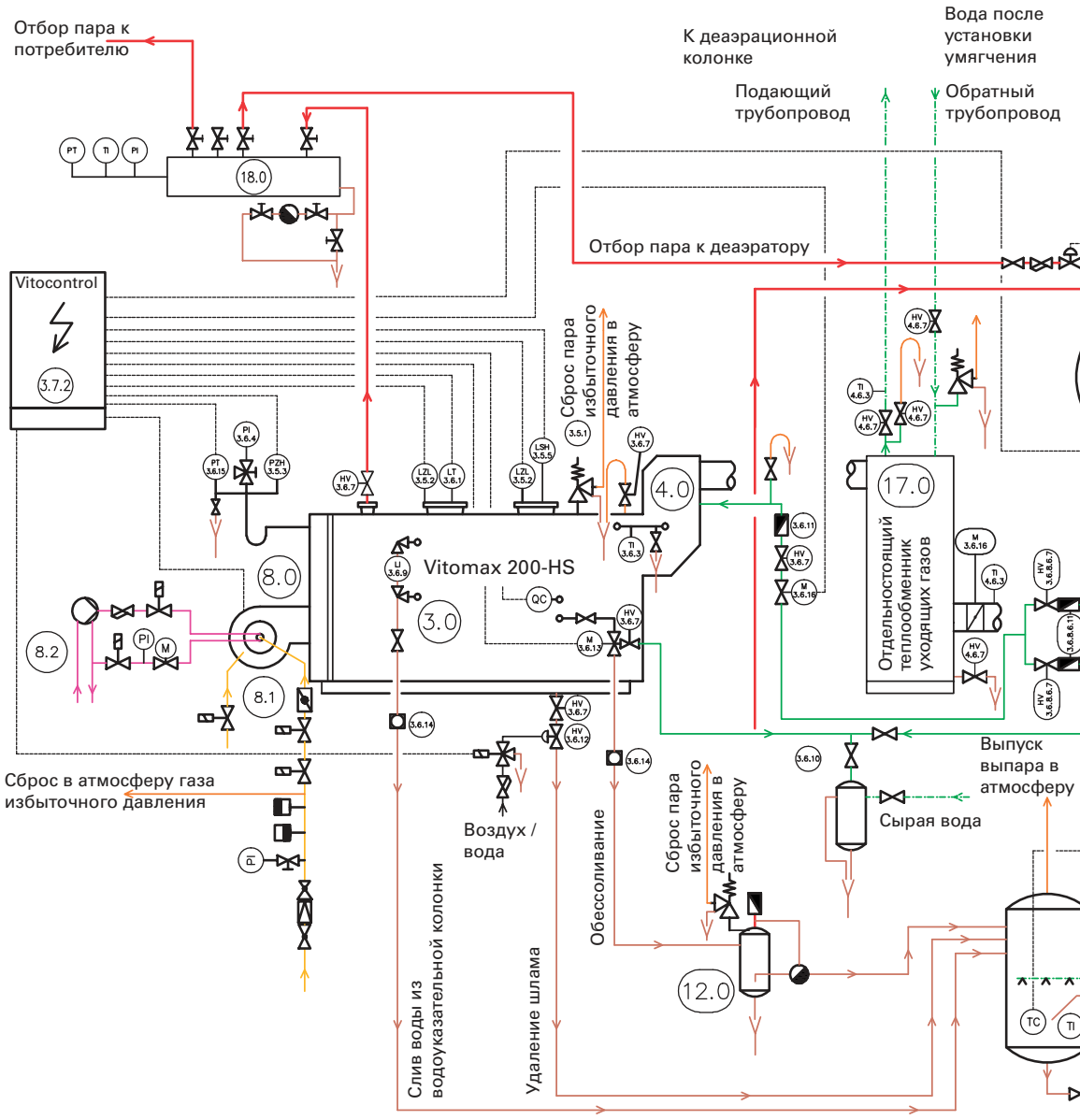
G. Приложение
Технические данные и таблицы

293 G. Приложение
Технические данные и таблицы

294 [A.1] Принципиальная схема паровой котельной установки. Дополнительные схемы находятся на внутренней стороне обложки
296 [A.2.1] Тепловая изоляция трубопроводов
297 [A.2.2] Тепловая изоляция для защиты от ожога
298 [A.3] Инструкция по проектированию (фрагмент)
302 [A.4] Схема паровой блочной модульной котельной
304 [Табл. 1.0] Единицы измерения системы СИ / пересчет значений некоторых механических и тепловых величин
305 [Табл. 1.1] Таблица пересчета ккал/час- кВт- т/ч
306 [Табл. 2.0] Параметры насыщенного водяного пара по давлениям
309 [Табл. 2.1] Параметры перегретого водяного пара
313 [Табл. 2.2] Параметры насыщенного водяного пара по температурам
314 [Табл. 3.0] Внутренняя шероховатость труб
315 [Табл. 3.1] Коэффициент трения в трубе / число Рейнольдса
316 [Табл. 4.0] Падение давления в паропроводах
317 [Табл. 4.1] Падение давления в паропроводах (пример)
318 [Табл. 6] Пар вторичного вскипания при сепарировании
319 [Табл. 7] Поперечное сечение трубопровода при заданных параметрах пара (пример)
320 [Табл. 8] Гидродинамическое сопротивление (пример)
321 [Табл. 9] Скорость потока (ориентировочные значения)
322 [Табл. 10] Опросный лист для проверки состояния парового котла
323 Список литературы

[A.1] Принципиальная схема паровой котельной установки

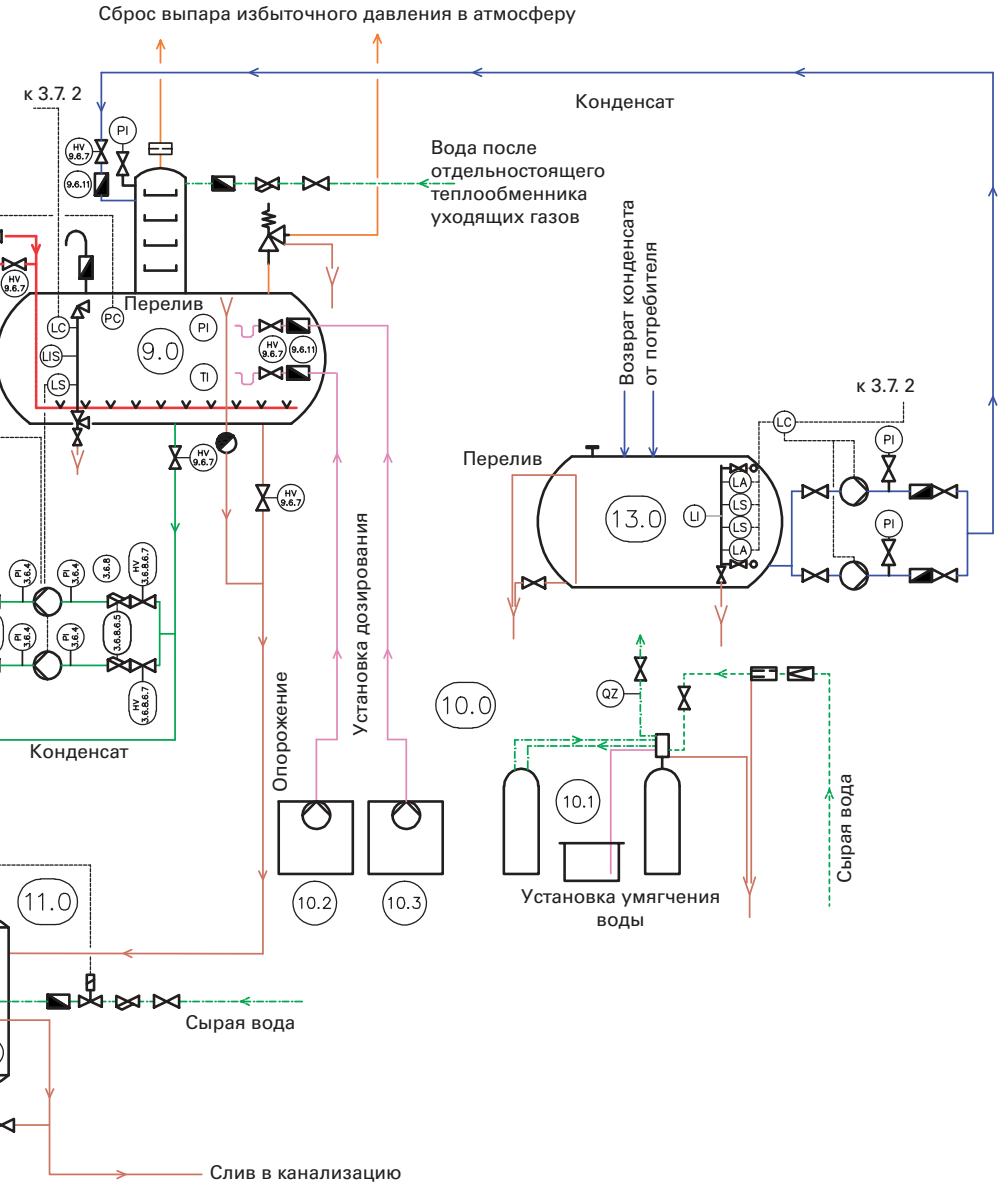
Схема паровой котельной установки с котлом Vitomax 200-HS с экономайзером



Данная схема носит только информативный характер. Принципиальная схема паровой котельной установки

Условные обозначения магистралей	Спецификация	
Главный паропровод	3.0 Паровой котел	6.4 Манометр
Линии сброса давления	4.0 Экономайзер	6.5 Фильтр-грязевик
Питательная вода	5.0 Оборудование безопасности котла	6.7 Запорная арматура
Сырая вода	5.1 Предохранительный клапан	6.8 Насос пит. воды
Умягченная вода	5.2 Регулирование мин. уровня воды	6.9 Водоуказательная колонка
Подача газа	5.3 Ограничитель макс. давления	6.10 Охладитель отбираемых проб
Подача / взврат ж/т	5.5 Регулирование макс. уровня воды	6.11 Обратный клапан
Вода в канализацию	6.0 Принадлежности	6.12 Вентиль продувки по шламу
Конденсат	6.1 Регулирование уровня воды	6.13 Вентиль продувки по соли
Линия дозирования	6.3 Термометр	6.14 Вапоскоп
Электрические кабели		

и отдельностоящим теплообменником уходящих газов.



должна быть разработана проектной организацией в соответствии с российскими нормами.

оборудования

- 6.15 Регулятор давления
- 6.16 Клапан-регулятор
- 6.17 Слив конденсата
- 7.0 Система управления
- 7.2 Шкаф управления
- 8.0 Горелка
- 8.1 Газовая рампа
- 8.2 Ж/т рампа
- 9.0 Термическая деаэрационная установка
- 10.0 Химическая водоподготовка
- 10.1 Установка умягчения с двумя ионообменными колоннами
- 10.2 Стабилизатор жесткости
- 10.3 Связывание O_2
- 11.0 Смешивающий охладитель
- 12.0 Сепаратор непрерывной продувки
- 13.0 Станция сбора конденсата
- 17.0 Теплообменник уходящих газов (отдельностоящий, с/без байпасной линии)
- 18.0 Паровая гребенка

[A.2.1] Тепловая изоляция трубопроводов

Температура окружающей среды: 9 °C
Скорость ветра: 5 м/с
Количество часов эксплуатации: 8000 ч/год

Тепловая изоляция трубопроводов

°C / DN	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
10	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60
15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	60	60	60	60
20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	70	70	70
25	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	80	80
32	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	60	60	60	60	60	60	70	70	70	80	80	80
40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	60	60	60	60	70	70	70	70	70	80	80	80	80
50	40	40	40	40	40	50	50	50	60	60	60	70	70	70	70	70	80	80	80	90	90	90
65	40	40	40	40	50	50	50	60	60	70	70	70	70	80	80	80	80	90	90	90	90	100
80	40	40	40	50	50	60	60	60	70	70	70	70	80	80	80	90	90	90	90	100	100	100
100	40	40	50	50	50	60	70	70	70	80	80	80	80	90	90	90	100	100	100	100	110	110
125	40	40	50	50	60	60	70	80	80	80	90	90	90	90	100	100	100	110	110	110	110	110
150	40	50	50	60	60	80	80	80	90	90	90	100	100	100	100	110	110	110	120	120	120	120
200	40	50	50	60	80	80	80	90	90	100	100	100	110	110	110	110	120	120	120	150	150	150
250	50	50	60	60	80	90	90	90	100	100	100	110	110	120	120	120	120	150	150	150	160	160
300	50	50	60	80	80	90	90	100	100	100	110	110	110	120	150	150	150	150	150	160	160	170
350	60	60	60	80	90	90	100	100	100	110	110	120	120	120	150	160	160	160	160	160	170	170
400	60	60	80	80	90	100	100	100	110	110	120	120	150	150	150	160	170	170	170	170	170	190
500	60	80	80	90	90	100	100	100	110	110	120	150	150	160	160	160	170	190	190	190	190	190
600	60	80	90	90	100	100	100	110	110	120	120	150	160	160	170	170	170	190	190	190	200	200
700	60	80	90	100	100	100	110	110	120	120	150	150	160	170	170	180	180	190	190	200	200	200
800	80	80	90	100	100	100	110	110	120	150	150	160	160	170	180	180	190	190	200	200	200	210
900	80	90	90	100	100	110	110	120	120	150	160	160	170	170	180	190	190	200	200	200	210	210
1000	80	90	100	100	100	110	110	120	150	150	160	170	170	180	180	190	200	200	200	210	210	220
1100	90	90	100	100	100	110	110	120	150	160	160	170	170	180	190	190	200	200	210	210	220	220
1200	90	90	100	100	100	110	120	120	150	160	170	170	180	180	190	190	200	200	210	220	220	230
1400	90	90	100	100	110	110	120	150	150	160	170	180	180	190	190	200	200	210	210	220	230	230
1500	90	90	100	100	110	120	120	150	160	160	170	180	190	190	200	200	200	210	220	220	230	240
1600	100	100	100	100	110	120	150	150	160	170	170	180	190	190	200	200	210	210	220	230	230	240
1800	100	100	100	110	110	120	150	160	160	170	180	180	190	200	200	210	210	220	220	230	240	240
2000	100	100	100	110	120	120	150	160	170	170	180	190	190	200	210	210	220	220	230	230	240	240
2400	110	110	110	110	120	150	150	160	170	180	180	190	200	200	210	220	220	230	230	240	240	240
2800	110	110	110	110	120	150	160	160	170	180	190	190	200	200	210	220	230	230	240	240	240	240
3200	120	120	120	120	120	150	160	170	180	180	190	200	200	200	210	220	230	240	240	240	240	240
3600	120	120	120	120	120	150	160	170	180	190	190	200	200	210	210	220	230	240	240	240	240	240
4000	120	120	120	120	120	150	160	170	180	190	190	200	200	210	220	220	230	240	240	240	240	240
плоскость стены	120	120	120	150	150	150	160	170	180	190	200	200	210	210	220	230	230	240	240	240	240	240

Тепловая изоляция для защиты от ожога [A.2.2]

Тепловая изоляция трубопроводов и емкостей для защиты от ожога

Температура поверхности: 60 °C
Температура окружающей среды: 20 °C
Скорость ветра: 3 м/с
Изолирующий материал: маты из минерального волокна

DN/т (°C)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700	800
10	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	70
15	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	60	80
20	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	60	80
25	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	70	90
32	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	70	90
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	70	100
50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	50	60	80	100
65	30	30	30	30	30	30	30	30	40	50	60	80	120
80	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	60	90	120
100	30	30	30	30	30	30	30	40	50	60	70	90	120
125	30	30	30	30	30	30	40	40	50	60	70	100	130
150	30	30	30	30	30	30	40	40	50	60	80	100	130
200	30	30	30	30	30	30	40	50	60	70	80	120	140
250	30	30	30	30	30	30	40	50	60	70	80	120	150
300	30	30	30	30	30	30	40	50	60	70	90	120	160
350	30	30	30	30	30	30	40	50	60	80	90	120	160
400	30	30	30	30	30	40	40	50	70	80	90	130	170
500	30	30	30	30	30	40	50	60	70	80	100	130	180
600	30	30	30	30	30	40	50	60	70	80	100	140	190
700	30	30	30	30	30	40	50	60	70	90	100	140	190
800	30	30	30	30	30	40	50	60	70	90	120	150	200
900	30	30	30	30	30	40	50	60	80	90	120	150	210
1000	30	30	30	30	30	40	50	60	80	90	120	160	210
1100	30	30	30	30	30	40	50	60	80	100	120	160	210
1200	30	30	30	30	30	40	50	70	80	100	120	160	220
1400	30	30	30	30	30	40	50	70	80	100	120	170	240
1500	30	30	30	30	30	40	60	70	80	100	120	170	240
1600	30	30	30	30	40	50	60	70	90	100	120	170	240
1800	30	30	30	30	40	50	60	70	90	120	130	180	240
2000	30	30	30	30	40	50	60	70	90	120	130	180	250
2400	30	30	30	30	40	50	60	80	90	120	130	190	260
2800	30	30	30	30	40	50	60	80	90	120	140	190	270
3200	30	30	30	30	40	50	60	80	100	120	140	200	270
4000	30	30	30	30	40	50	60	80	100	120	140	200	280
горизонтальная + вертикальная стена	30	30	30	30	30	30	30	40	50	60	70	100	140

[A.3] Инструкция по проектированию водоподготовки – фрагмент

Инструкция по проектированию водоподготовки для паровой котельной установки

Применение инструкции по проектированию

Указанные граничные значения действительны для паровых котлов из нелегированной и низколегированной стали. Они основываются на многолетнем опыте фирмы VIESSMANN и удовлетворяют минимальным требованиям EN 12953-10.

Цель:

При поддержании упомянутых параметров воды пользователь установки сможет

- снизить риск возникновения коррозии,
- уменьшить образование отложений,
- обеспечить выделение шлама,

что позволит достигнуть надежной, экономичной и продолжительной эксплуатации установки.

Паровой котел

Как правило, сырая необработанная вода в том виде, в котором она поставляется, не пригодна в качестве питательной воды котла. Способ подготовки питательной воды котла выбирается исходя из качества сырой необработанной воды. Качество воды может меняться, поэтому регулярный контроль обязателен.

Для подачи воды после прохождения водоподготовки необходимо предусмотреть соответствующий счетчик воды для регистрации количества дополнительной воды, подаваемой к возвращаемому конденсату. При этом осуществляется косвенный контроль количества потребляемого пара.

Рекомендуется возвращать максимально возможное количество конденсата в емкость для питательной воды. Конденсат должен быть такого качества, чтобы удовлетворять требованиям, предъявляемым к питательной воде котла (см. табл. 1).

С учетом требований (включая требования к котловой воде (согласно табл. 2) в зависимости от качества сырой необработанной воды и количества дополнительной воды применяется соответствующая установка химической и термической водоподготовки и появляется возможность добавления связывающих кислород веществ (например, стабилизация остаточной жесткости, подщелачивающих веществ и фосфатов) в емкость для питательной воды или в подводящий трубопровод к емкости питательной воды. Контроль соответствия требованиям осуществляется с помощью замеров с применением соответствующего, максимально простого оборудования (в зависимости от режима эксплуатации 24 или 72 часа, или в соответствии с местными нормативными документами). Результаты измерений, количество дополнительной воды, расход химических элементов и данные о техническом обслуживании заносятся в эксплуатационный журнал, что позволяет в любое время оценить состояние установки.

Таблица 1: Требования к содержанию солей в питательной воде котла

Допустимое рабочее давление	бар	До 20	Свыше 20
Общие требования		бесцветная, прозрачная и не содержит нерастворенных примесей	
pH-значение при 25 °C		> 9	> 9
Удельная проводимость при 25 °C	мкСм/см	важны только значения для котловой воды	
Сумма окисей и гидроокисей щелочноземельных металлов ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$)	ммоль/л	< 0,01	< 0,01
Кислород (O_2)	мг/л	0,05	< 0,02
Угольная кислота (CO_2) связанная	мг/л	< 25	< 25
Железо, общее содержание (Fe)	мг/л	< 0,2	< 0,1
Медь, общее содержание (Cu)	мг/л	< 0,05	< 0,01
Окисляемость (Mn VII → Mn II) как $KMnO_4$	мг/л	< 10	< 10
Масла, жиры	мг/л	< 1	< 1
Органические субстанции	—	См. сноску *1	

Таблица 2: Требования к котловой воде

Допустимое рабочее давление	бар	Удельн. провод-сть питательн. воды > 30 мкСм/см До 20	Удельн. провод-сть питательн. воды > 30 мкСм/см Свыше 20	Удельн. провод-сть питательн. воды ≤ 30 мкСм/см Свыше 0,5
Общие требования		бесцветная, прозрачная и не содержит нерастворенных примесей		
pH-начение при 25 °C		10,5 – 12	10,5 – 11,8	10 – 11*2*3
Кислотная емкость ($K_{S\,8,2}$)	моль/л	1 – 12*4	1 – 10*4	0,1 – 1,0*2
Удельн. проводимость при 25 °C	мкСм/см	< 6000*4	См. рисунок 1 стр. 3 *4	< 1500
Фосфат (PO_4)	мг/л	10 – 20	10 – 20	6 – 15
Кремневая кислота (SiO_2)*5	мг/л	В зависимости от давления, см. рис. 1 (стр. 3) и 2 (стр. 3)		

*1 *Как правило, органические субстанции представляют собой смесь различных соединений. Состав таких смесей и поведение их компонентов при работающем котле сложно предугадать. Органические субстанции могут распадаться до угольной кислоты или других кислых продуктов, повышающих удельную проводимость и способствующих образованию коррозии и наслоений. Они могут также спровоцировать образование пены и налета, которые должны быть по возможности минимальными. Также содержание TOC (Total Organic Carbon) необходимо поддерживать минимальным.*

*2 *При применении VE-воды, LF которой < 0,2 мкСм/см, добавление фосфатов не требуется. Как альтернатива может быть применено AVT (кондиционирование летучими подщелачивающими веществами, значение pH для питательной воды ≥ 9,2 и значение pH для котловой воды ≥ 8,0). В таком случае удельная проводимость должна быть < 5 мкСм/см.*

*3 *Регулирование уровня pH, как правило, за счет добавления Na_3PO_4. Дополнительное добавление NaOH только в случаях, когда pH < 10.*

*4 *При перегревателях 50% указанных верхних значений следует рассматривать как максимальные значения.*

*5 *Если применяются фосфаты, то с учетом всех прочих значений допустимы более высокие концентрации PO_4 (например, при компенсирующей обработке фосфатами). (См. раздел «Компенсация»).*

Инструкция по проектированию водоподготовки для паровой котельной установки (продолжение)

Примечание
Применение фосфатов рекомендуется, но не всегда требуется.
Перерасчет: 1 моль/м³ = 5,6 °dH; 1 °dH = 0,179 моль/м³

Альтернативой к эксплуатации с применением солесодержащей питательной воды может быть эксплуатация с применением питательной воды, не содержащей солей.

Максимально допустимая прямая удельная проводимость котловой воды в зависимости от давления

Удельная проводимость питательной воды > 30 мкСм/см/см

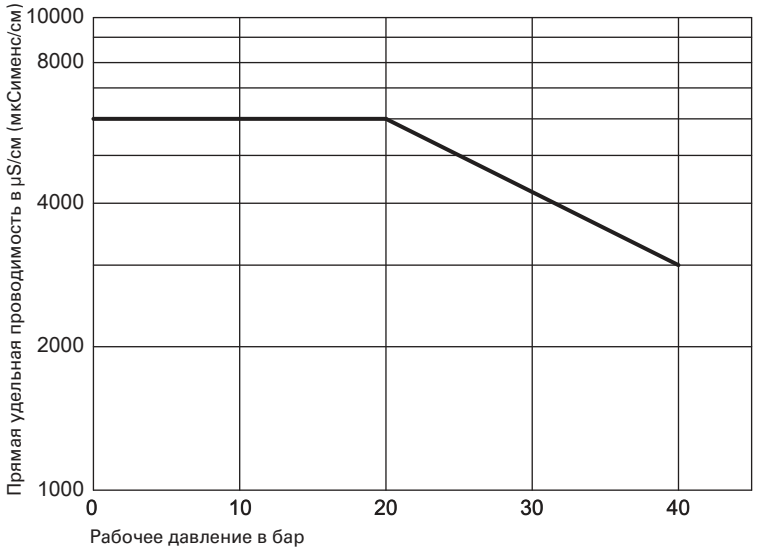


Рисунок 1

Максимально допустимое содержание кремневой кислоты (SiO_2) в котловой воде в зависимости от давления

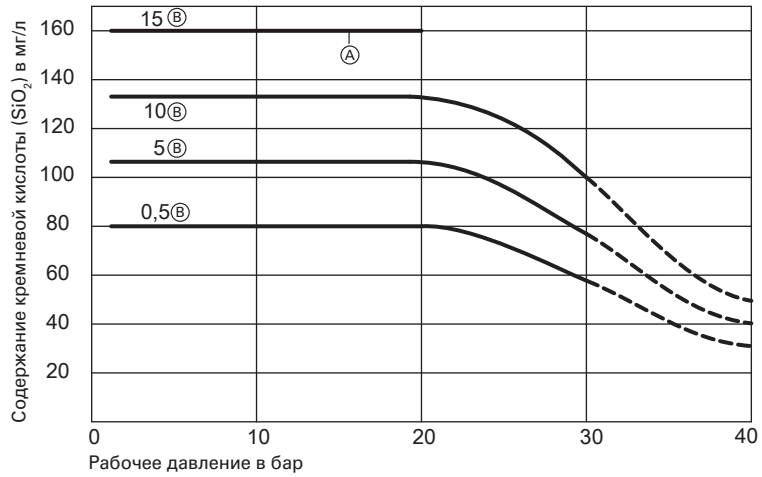


Рисунок 2

Ⓐ эта плоскость щелочности больше недопустима > 20 бар
Ⓑ $K_{S\,8,2}$ – значение в моль/л

Инструкция по проектированию водоподготовки для паровой котельной установки (продолжение)

Кондиционирование

Определенные свойства питательной и котловой воды должны быть усилены путем обработки с применением химических веществ. Такое кондиционирование способствует:

- образованию магнетитовых слоев или других защищающих от окисления слоев;
- снижению коррозии путем регулирования значения pH;
- стабилизации жесткости и снижению или минимизации образования котлового камня и отложений;
- химическому связыванию остаточного кислорода.

Традиционные средства для кондиционирования могут содержать, например, гидроксид натрия и гидроксид калия, фосфат натрия, сульфит натрия, аммиак и гидразин.

Примечание

Применение некоторых из перечисленных химических элементов может быть ограничено в ряде стран или некоторых производственных процессах.

Кондиционирование / Общие положения

- **Удельная проводимость**
  - солесодержащая:
    При этом подразумевается питательная вода с электропроводностью > 30 mS/см (мкСименс/см) (например, после установки для снижения жесткости);
  - с малым содержанием солей:
    при этом подразумевается питательная вода с электропроводностью 0,2 – 30 mS/см (мкСименс/см) (например, после установки для снижения жесткости);
  - не содержащая солей:
    при этом подразумевается питательная вода с электропроводностью < 0,2 mS/см (мкСименс/см) и концентрацией кремневой кислоты < 0,02 мг/л, а также конденсат с электропроводностью < 5 mS/см (мкСименс/см) (например, после установки полной деаэрации).
- **Кислотная емкость $K_{S\,4,3}$**

  Повышенная кислотная емкость в питательной воде способствует усилению алкализации котловой воды, что в свою очередь повышает риск возникновения коррозии не только в паровом котле, но в подключенной паровой сети из-за отделения парожидкостной угольной кислоты.
- **Регулировка щелочности**

  Выбор ощелачивающих веществ, кроме всего прочего, зависит от применения пара, давления пара и способа водоподготовки. Существуют твердые и летучие подщелачивающие вещества.

Согласованное кондиционирование фосфатами или их производными может быть также полезным для регулирования значения pH котловой воды. Тем не менее на протяжении многих лет также применяются органические кондиционирующие вещества.

Если применяются органические кондиционирующие вещества, то необходимые количества и способы их применения, а также инструкцию по химическому анализу от производителя следует специфицировать.

- **Кислород и двуокись углерода, или связывающие кислород вещества**

  Двуокись углерода и кислород выделяются из питательной воды путем полной термической дегазации. Если на практике, например, из-за частых простоев, не представляется возможным поддерживать кислород в питательной воде в пределах допустимого уровня, то требуется применение связывающих кислород веществ. Такие «корректирующие химические вещества» подмешиваются в питательную воду с помощью дозирующих устройств.

  Примечание.

  Пленкообразующие амины не являются связывающими кислород веществами.

Примечание

При испарении котловой воды концентрация растворенных нелетучих веществ в оставшейся котловой воде увеличивается (соли, твердые кондиционирующие вещества). В таких случаях говорят о «повышении концентрации солей в котловой воде». При таких условиях может возникнуть местная концентрация щелочи, которая приводит к коррозионному растрескиванию. Поэтому при незначительно амортизированной питательной воде (с малым содержанием солей) с удельной электропроводностью < 30 µS/cm (мкСименс/см) гидроокись натрия в качестве подщелачивающего вещества допустима только тогда, когда рекомендованный диапазон pH не может быть достигнут только за счет применения фосфата натрия. Вместе с тем при низком содержании гидроокиси натрия возможны внезапные колебания значения pH.

Отклонения при кондиционировании

Если в процессе длительной эксплуатации наблюдается отклонение от упомянутых величин, то это может быть следствием:

- недостаточной обработки дополнительной воды;
- недостаточного кондиционирования питательной воды;
- прогрессирующей коррозии определенных элементов установки;
- попадания в воду примесей из других систем, например, из конденсатной емкости или теплообменников.

Следует незамедлительно предпринять соответствующие меры по восстановлению надлежащей эксплуатации установки. Так, например, возвращаемый конденсат не должен влиять на качество питательной воды, поэтому он подлежит предварительной обработке.

Постоянство химического состава котловой воды может обеспечиваться либо путем дозировки необходимых химических элементов, либо путем непрерывной или периодической продувки по шламу какой-то части от общего объема воды. При этом подлежат устранению как растворенные, так и взвешенные примеси.

Кондиционирование / гарантия

Примечание

Гарантия теряет силу:

- *при применении пленкообразующих аминов;,*
- *при применении дозируемых веществ, не упомянутых в директивах или не согласованных с VIEESSMANN.*

Инструкция по проектированию водоподготовки для паровой котельной установки (продолжение)

Взятие проб

Взятие проб воды и пара из котловой системы необходимо осуществлять в соответствии с ISO 5667-1, а подготовку и анализ проб – в соответствии с ISO 5667-3.
Взятие проб осуществляется через охладитель проб, который охлаждает пробы воды до температуры около 25 °C.
Для надлежащего взятия проб через определенные промежутки времени следует производить предварительную промывку трубопровода для взятия проб.

Анализ проб необходимо производить непосредственно после взятия, так как из-за длительного настаивания проб измеряемые показатели могут измениться.
Мутную или загрязненную пробу перед анализом следует профильтровать.

См. также «Инструкцию по эксплуатации охладителя проб».

Места взятия проб

Взятие проб осуществляется в определенных точках системы. Как правило, такими точками являются:

- вентиль входа питательной воды в котел;
- котловая вода от отпускной трубы или непрерывной продувки;
- дополнительная вода после установки для подготовки дополнительной воды или отстойника;
- конденсат на выходе из конденсатной емкости, если имеется; в противном случае пробу следует взять в точке, максимально приближенной к резервуару питательной воды.

Анализ

Общие сведения
Анализ позволяет подтвердить соответствие указанных в **таблице 1** (стр. 2) и **таблице 2** (стр. 2) величин.
Если анализ производится в соответствии с другими нормативными документами или посредством непрямых методов, то эти методы следует калибрировать. Для проведения анализа обязательна чистая рабочая поверхность с подключением воды и отводом в канализацию. На рабочем месте предусматривается наличие шкафа с необходимыми приборами и инструментарием.

Примечание
В некоторых случаях количество растворенных веществ можно предварительно оценить с помощью удельной электропроводимости. Кроме того, наблюдается корреляция между значением pH и двумя электропроводимостями.
Для непрерывного наблюдения значений O_2 и pH, а также для контроля жесткости компания VIESSMANN предлагает компоненты для проведения анализа воды.

Проведение анализа / инструментарий

Показатели котла замеряются соответствующими инструментами при работающем котле. При существенном отклонении значений необходимо их подтверждение с помощью соответствующего анализа и принятие необходимых мер.
Проверка параметров должна осуществляться согласно следующим нормам:

кислотная емкость	EN ISO 9963-1
электропроводность	ISO 7888
медь	ISO 8288
железо	ISO 6332
кислород	ISO 5814
значение pH	ISO 10523
соль фосфорной кислоты	ISO 6878–1
калий	ISO 9964–2
кремневая кислота*6	
натрий	ISO 9964–1
TOC*7	ISO 8245
общая жесткость Ca + Mg	ISO 6059

Кислотная электропроводность должна измеряться в форме концентрации водородных ионов (pH) непрерывно и таким же способом, как и электропроводность в водородной форме, после того как проба прошла сильно кислый катионообменник объемом 1,5 л.
Обменник представляет собой цилиндр с соотношением диаметра к высоте как 1:3 или ниже, при этом обменная среда заполняет его как минимум на 3/4.
Ионообменник подлежит регенерации, если он использован на 2/3, что можно легко установить, если применяется обменник с цветовой меткой или из прозрачного цилиндра.

Время простоя / защита от замерзания

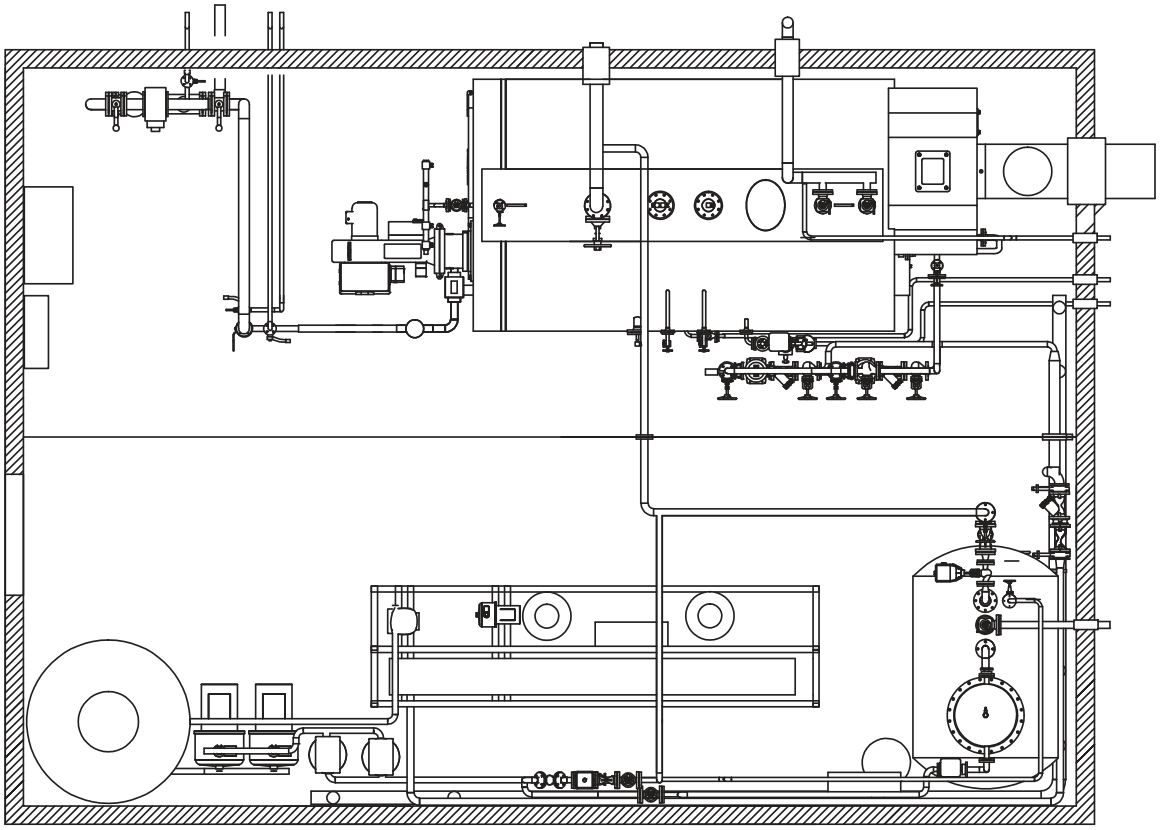
Если котельная установка долгое время простаивает, рекомендуется полностью заполнить установку водой с добавлением связывающих кислород веществ с целью связывания находящегося в воде кислорода. Паровой котел при этом должен находиться под давлением.

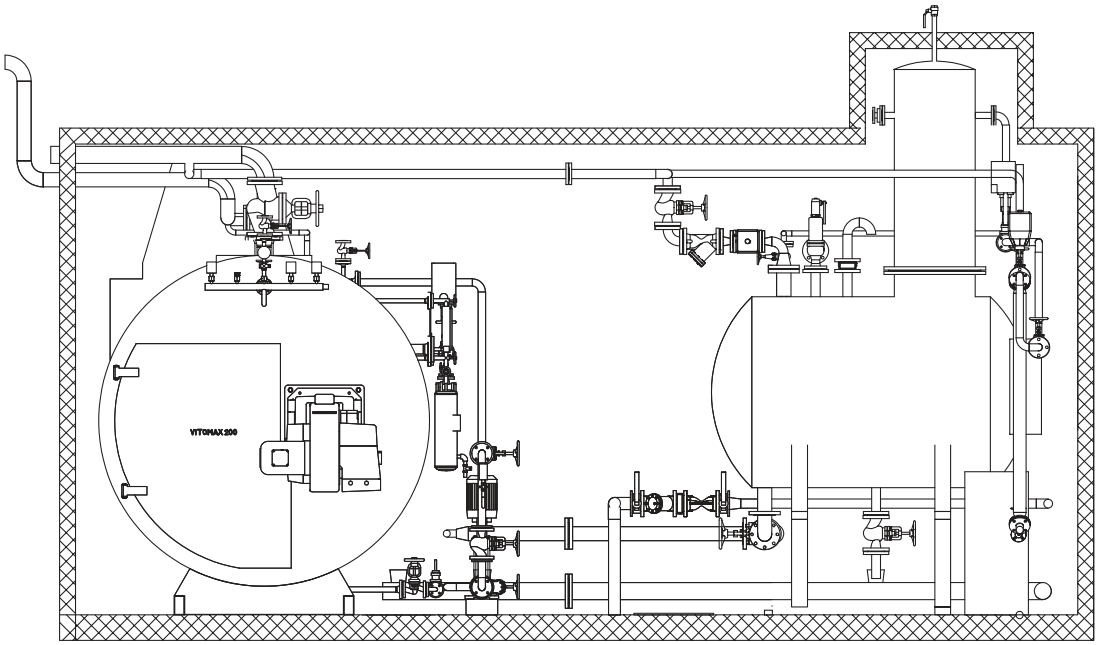
Другая возможность – это сухая консервация установки, которая рекомендуется, когда время простоя превышает 4 недели. Подробную информацию можно найти в инструкции «Консервирование со стороны воды и отопления» / «Wasser- und heizgasseitige Konservierung».

*6 *В настоящее время не существует европейских или международных норм. См., например, DIN 38405-21 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Anionen (Gruppe D); Photometrische Bestimmung von gelöster Kieselsäure (D 21).*

*7 *В качестве альтернативы индекс соли марганцевой кислоты может быть измерен согласно ISO 8467.*

[A.4] Схема паровой блочной модульной котельной





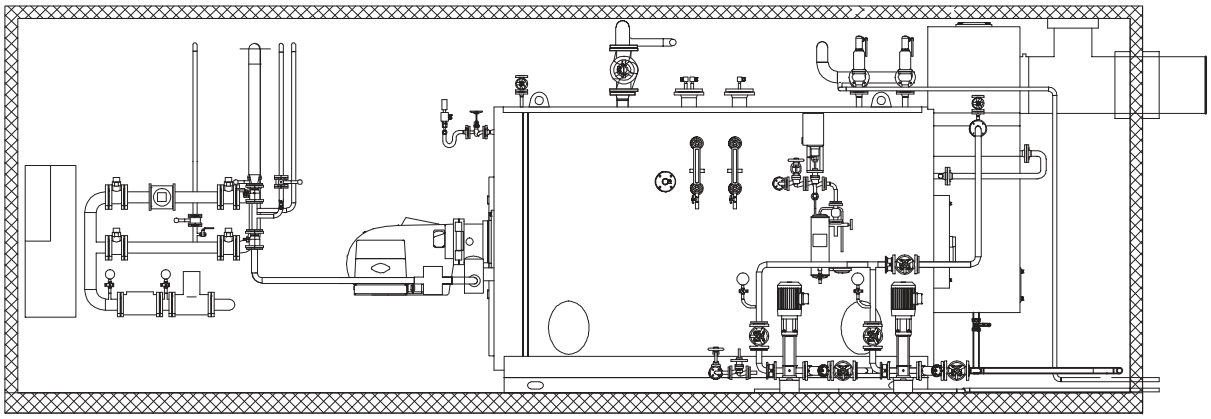


Схема паровой блочной модульной котельной
с котлом Vitomax 200-HS, 2.9 т/ч, 10 бар, RT-Group LLC Украина.

[Табл. 1.0] Единицы измерения системы СИ / пересчет значений некоторых механических и тепловых величин

Давление

	бар	мбар	мм вод. ст.	1 кгс/см² = 1 атм
1 бар	1	1000	10200	1,02
1 мбар	0,001	1	10,20	0,00102
1 мм вод. ст.	0,0000981	0,0981	1	0,0001
1 кгс/см²	0,981	981	10000	1
1 Па	0,00001	0,01	0,1020	0,000012

Энергия, работа, количество теплоты

	ккал	Мкал	Дж вт.сек.	кДж	МДж	кВтч
1 ккал	1	0,001	4186,8	4,1868	0,00418	0,001163
1 Мкал	1000	1	4186800	4186,8	4,1868	1,163
1 Дж = 1 вт.сек.	0,000239	0,000000239	1	0,001	0,000001	0,0000002778
1 кДж	0,2388	0,000239	1000	1	0,001	0,0002778
1 МДж	238,8	0,2388	1000000	1000	1	0,2778
1 кВтч	860	0,860	3600000	3600	3,6	1

Мощность и тепловой поток

	ккал	ккал/мин	Дж/с Вт	кВт	МДж/ч
1 ккал/ч	1	0,01667	1,163	0,001163	0,0041868
1 ккал/мин	60	1	69,768	0,69768	0,2512
1 Дж/с = 1 Вт	0,860	0,01433	1	0,001	0,0036
1 кВт	860	0,01433	1	0,001	0,0036

Температура

	°C	K
Градус Цельсия	1	°C + 273
Градус Кельвина	K- 273	1

- Величины при перерасчете округлены.
- Градус Кельвина – это температура абсолютной шкалы температур, где 1 °K = 1 °C.

Таблица пересчета ккал/час - кВт - т/ч [Табл. 1.1]

ккал/час	кВт	т/ч[a)]
562.500	675	1
841.667	1.010	1,5
1.125.000	1.350	2
1.395.833	1.675	2,5
1.687.500	2.025	3
1.970.833	2.365	3,5
2.250.000	2.700	4
2.812.500	3.375	5
3.375.000	4.050	6
3.937.500	4.725	7
4.500.000	5.400	8
5.062.500	6.075	9
5.625.000	6.750	10
6.750.000	8.100	12
7.875.000	9.450	14

[a)] 12 бар, 102 °C температура питательной воды.

[Табл. 2.0] Параметры насыщенного водяного пара по давлениям

Абсолют. давление p бар	Температура насыщения (кипения) t_s °C	Удельный объем кипящей жидкости v, м³/кг	Удельный объем насыщенного пара v" м³/кг	Удельная плотность пара ρ'" кг/м³	Удельная энтальпия кипящей жидкости h' кДж/кг	Удельная энтальпия насыщенного пара h'" кДж/кг	Удельная теплота парообразования r кДж/кг
0,010	6,98	0,0010001	129,20	0,00774	29,34	2514,4	2485,0
0,015	13,04	0,0010006	87,98	0,01137	54,71	2525,5	2470,7
0,020	17,51	0,0010012	67,01	0,01492	73,46	2533,6	2460,2
0,025	21,10	0,0010020	54,26	0,01843	88,45	2540,2	2451,7
0,030	24,10	0,0010027	45,67	0,02190	101,00	2545,6	2444,6
0,035	26,69	0,0010033	39,48	0,02533	111,85	2550,4	2438,5
0,040	28,98	0,0010040	34,80	0,02873	121,41	2554,5	2433,1
0,045	31,04	0,0010046	31,14	0,03211	129,99	2558,2	2428,2
0,050	32,90	0,0010052	28,19	0,03547	137,77	2561,6	2423,8
0,055	34,61	0,0010058	25,77	0,03880	144,91	2564,7	2419,8
0,060	36,18	0,0010064	23,74	0,04212	151,50	2567,5	2416,0
0,065	37,65	0,0010069	22,02	0,04542	157,64	2570,2	2412,5
0,070	39,03	0,0010074	20,53	0,04871	163,38	2572,6	2409,2
0,075	40,32	0,0010079	19,24	0,05198	168,77	2574,9	2406,2
0,080	41,53	0,0010084	18,10	0,05523	173,86	2577,1	2403,2
0,085	42,69	0,0010089	17,10	0,05848	178,69	2579,2	2400,5
0,090	43,79	0,0010094	16,20	0,06171	183,28	2581,1	2397,9
0,095	44,83	0,0010098	15,40	0,06493	187,65	2583,0	2395,3
0,10	45,83	0,0010102	14,67	0,06814	191,83	2584,8	2392,9
0,15	54,00	0,0010140	10,02	0,09977	225,97	2599,2	2373,2
0,20	60,09	0,0010172	7,650	0,1307	251,45	2609,9	2358,4
0,25	64,99	0,0010199	6,204	0,1612	271,99	2618,3	2346,4
0,30	69,12	0,0010223	5,229	0,1912	289,30	2625,4	2336,1
0,40	75,89	0,0010265	3,993	0,2504	317,65	2636,9	2319,2
0,45	78,74	0,0010284	3,576	0,2796	329,64	2641,7	2312,0
0,50	81,35	0,0010301	3,240	0,3086	340,56	2646,0	2305,4
0,55	83,74	0,0010317	2,964	0,3374	350,61	2649,9	2299,3
0,60	85,95	0,0010333	2,732	0,3661	359,93	2653,6	2293,6
0,65	88,02	0,0010347	2,535	0,3945	368,62	2656,9	2288,3
0,70	89,96	0,0010361	2,365	0,4229	376,77	2660,1	2283,3
0,75	91,79	0,0010375	2,217	0,4511	384,45	2663,0	2278,6
0,80	93,51	0,0010387	2,087	0,4792	391,72	2665,8	2274,0
0,85	95,15	0,0010400	1,972	0,5071	398,63	2668,4	2269,8
0,90	96,71	0,0010412	1,869	0,5350	405,21	2670,9	2265,6
0,95	98,20	0,0010423	1,777	0,5627	411,49	2673,2	2261,7
1,00	99,63	0,0010434	1,694	0,5904	417,51	2675,4	2257,9

Параметры насыщенного водяного пара по давлениям [Табл. 2.0]

Абсолют. давление p бар	Температура насыщения (кипения) t_s °C	Удельный объем кипящей жидкости v, м³/кг	Удельный объем насыщенного пара v" м³/кг	Удельная плотность пара ρ'" кг/м³	Удельная энтальпия кипящей жидкости h' кДж/кг	Удельная энтальпия насыщенного пара h'" кДж/кг	Удельная теплота парообразования r кДж/кг
1,5	111,37	0,0010530	1,159	0,8628	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,0010608	0,8854	1,129	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,0010675	0,7184	1,392	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,0010735	0,6056	1,651	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,0010789	0,5240	1,908	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,0010839	0,4622	2,163	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,0010885	0,4138	2,417	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,0010928	0,3747	2,669	640,12	2747,5	2107,4
5,5	155,46	–	0,3426	2,920	655,78	2751,7	2095,9
6,0	158,84	0,0011009	0,3155	3,170	670,42	2755,5	2085,0
6,5	161,99	–	0,2925	3,419	684,12	2758,8	2074,0
7,0	164,96	0,0011082	0,2727	3,667	697,06	2762,0	2064,9
7,5	167,75	–	0,2554	3,915	709,29	2764,8	2055,5
8,0	170,41	0,0011150	0,2403	4,162	720,94	2767,5	2046,5
8,5	172,94	–	0,2268	4,409	732,02	2769,9	2037,9
9,0	175,36	0,0011213	0,2148	4,655	742,64	2772,1	2029,5
9,5	177,66	–	0,2040	4,901	752,81	2774,2	2021,4
10,0	179,88	0,0011274	0,1943	5,147	762,61	2776,2	2013,6
11	184,07	0,0011331	0,1747	5,637	781,13	2779,7	1998,5
12	187,96	0,0011386	0,1632	6,127	798,43	2782,7	1984,3
13	191,61	0,0011438	0,1511	6,617	814,70	2785,4	1970,7
14	195,04	0,0011489	0,1407	7,106	830,08	2787,8	1957,7
15	198,29	0,0011539	0,1317	7,596	844,67	2789,9	1945,2
16	201,37	0,0011586	0,1237	8,085	858,56	2791,7	1933,2
17	204,31	0,0011633	0,1166	8,575	871,84	2793,4	1921,5
18	207,11	0,0011678	0,1103	9,065	884,58	2794,8	1910,3
19	209,80	0,0011723	0,1047	9,555	896,81	2796,1	1899,3
20	212,37	0,0011766	0,09954	10,05	908,59	2797,2	1886,6
21	214,85	0,0011809	0,09489	10,54	919,96	2798,2	1878,2
22	217,24	0,0011850	0,09065	11,03	930,95	2799,1	1868,1
23	219,55	0,0011892	0,08677	11,52	941,60	2799,8	1858,2
24	221,78	0,0011932	0,08320	12,02	951,93	2800,4	1848,5
25	223,94	0,0011972	0,07991	12,51	961,96	2800,9	1839,0
26	226,04	0,0012011	0,07686	13,01	971,72	2801,4	1829,6
27	228,07	0,0012050	0,07402	13,51	981,22	2801,7	1820,5
28	230,05	0,0012088	0,07139	14,01	990,48	2802,0	1811,5

[Табл. 2.0] Параметры насыщенного водяного пара по давлениям

Абсолют. давление p бар	Температура насыщения (кипения) t_s °C	Удельный объем кипящей жидкости v, м³/кг	Удельный объем насыщенного пара v" м³/кг	Удельная плотность пара ρ'" кг/м³	Удельная энтальпия кипящей жидкости h' кДж/кг	Удельная энтальпия насыщенного пара h'" кДж/кг	Удельная теплота парообразования r кДж/кг
29	231,97	0,0012126	0,06893	14,51	999,53	2802,2	1802,6
30	233,84	0,0012163	0,06663	15,01	1008,4	2802,3	1793,9
32	237,45	0,0012237	0,06244	16,02	1025,4	2802,3	1776,9
34	240,88	0,0012310	0,05873	17,03	1041,8	2802,1	1760,3
36	244,16	0,0012381	0,05541	18,05	1057,6	2801,7	1744,2
38	247,31	0,0012451	0,05244	19,07	1072,7	2801,1	1728,4
40	250,33	0,0012521	0,04975	20,10	1087,4	2800,3	1712,9
42	253,24	0,0012589	0,04731	21,14	1101,6	2799,4	1697,8
44	256,05	0,0012657	0,04508	22,18	1115,4	2798,3	1682,9
46	258,75	0,0012725	0,04304	23,24	1128,8	2797,0	1668,3
48	261,37	0,0012792	0,04116	24,29	1141,8	2795,7	1653,9
50	263,91	0,0012858	0,03943	25,36	1154,5	2794,2	1639,7
55	269,93	0,0013023	0,03563	28,07	1184,9	2789,9	1605,0
60	275,55	0,0013187	0,03244	30,83	1213,7	2785,0	1571,3
65	280,82	0,0013350	0,02972	33,65	1241,1	2779,5	1538,4
70	285,79	0,0013513	0,02737	36,53	1267,4	2773,5	1506,0
75	290,50	0,0013677	0,02533	39,48	1292,7	2766,9	1474,2
80	294,97	0,0013842	0,02353	42,51	1317,1	2759,9	1442,8
85	299,23	0,0014009	0,02193	56,61	1340,7	2752,5	1411,7
90	303,31	0,0014179	0,02050	48,79	1363,7	2744,6	1380,9
95	307,21	0,0014351	0,01921	52,06	1386,1	2736,4	1350,2
100	310,96	0,0014526	0,01804	55,43	1408,0	2727,7	1319,7
110	318,05	0,0014887	0,01601	62,48	1450,6	2709,3	1258,7
120	324,65	0,0015268	0,01428	70,01	1491,8	2689,2	1197,4
130	330,83	0,0015672	0,01280	78,14	1532,0	2667,0	1135,0
140	336,64	0,0016106	0,01150	86,99	1571,6	2642,4	1070,7
150	342,13	0,0016579	0,01034	96,71	1611,0	2615,0	1004,0
160	347,33	0,0017103	0,009308	107,4	1650,5	2584,9	934,3
170	352,26	0,0017696	0,008371	119,5	1691,7	2551,6	859,9
180	356,96	0,0018399	0,007489	133,4	1734,8	2513,9	779,1
190	361,43	0,0019260	0,006678	149,8	1778,7	2470,6	692,0
200	365,70	0,0020370	0,005877	170,2	1826,5	2418,4	591,9
220	373,69	0,0026714	0,003728	268,3	2011,1	2195,6	184,5
221,20	374,15	0,00317	0,00317	315,5	2107,4	2107,4	0

Параметры перегретого водяного пара [Табл. 2.1]

Давление p бар	Удельная энтальпия перегретого пара (кДж/кг) в зависимости от давления (бар) и температуры (°C)							
	200	220	240	260	280	300	320	340
1	2875,4	2915,0	2954,6	2994,4	3034,4	3074,5	3114,8	3155,3
2	2870,5	2910,8	2951,1	2991,4	3031,7	3072,1	3112,6	3153,3
3	2865,5	2906,6	2947,5	2988,2	3028,9	3069,7	3110,5	3151,4
4	2860,4	2902,3	2943,9	2985,1	3026,2	3067,2	3108,3	3149,4
5	2855,1	2898,0	2940,1	2981,9	3023,4	3064,8	3106,1	3147,4
6	2849,7	2893,5	2936,4	2978,7	3020,6	3062,3	3103,9	3145,4
7	2844,2	2888,9	2932,5	2975,4	3017,7	3059,8	3101,6	3143,4
8	2838,6	2884,2	2928,6	2972,1	3014,9	3057,3	3099,4	3141,4
9	2832,7	2879,5	2924,6	2968,7	3012,0	3054,7	3097,1	3139,4
10	2826,8	2874,6	2920,6	2965,2	3009,0	3052,1	3094,9	3137,4
11	2820,7	2869,6	2916,4	2961,8	3006,0	3049,6	3092,6	3135,3
12	2814,4	2864,5	2912,2	2958,2	3003,0	3046,9	3090,3	3133,2
13	2808,0	2859,3	2908,0	2954,7	3000,0	3044,3	3088,0	3131,2
14	2801,4	2854,0	2903,6	2951,0	2996,9	3041,6	3085,6	3129,1
15	2794,7	2848,6	2899,2	2947,3	2993,7	3038,9	3083,3	3127,0
16	–	2843,1	2894,7	2943,6	2990,6	3036,2	3080,9	3124,9
18	–	2831,7	2885,4	2935,9	2984,1	3030,7	3076,1	3120,6
20	–	2819,9	2875,9	2928,1	2977,5	3025,0	3071,2	3116,3
22	–	2807,5	2866,0	2920,0	2970,8	3019,3	3066,2	3112,0
24	–	–	2855,7	2911,6	2963,8	3013,4	3061,1	3107,5
26	–	–	2845,2	2903,0	2956,7	3007,4	3056,0	3103,0
28	–	–	2834,2	2894,2	2949,5	3001,3	3050,8	3098,5
30	–	–	2822,9	2885,1	2942,0	2995,1	3045,4	3093,9
32	–	–	2811,2	2875,8	2934,4	2988,7	3040,0	3089,2
34	–	–	–	2866,2	2926,6	2982,2	3034,5	3084,4
36	–	–	–	2856,3	2918,6	2975,6	3028,9	3079,6
38	–	–	–	2846,1	2910,4	2968,9	3023,3	3074,8
40	–	–	–	2835,6	2902,0	2962,0	3017,5	3069,8
42	–	–	–	2824,8	2893,5	2955,0	3011,6	3064,8
44	–	–	–	2813,6	2884,7	2947,8	3005,7	3059,7
46	–	–	–	2802,0	2875,6	2940,5	2999,6	3054,6
48	–	–	–	–	2866,4	2933,1	2993,4	3049,4
50	–	–	–	–	2856,9	2925,5	2987,2	3044,1
55	–	–	–	–	2831,8	2905,7	2971,0	3030,5
60	–	–	–	–	2804,9	2885,0	2954,2	3016,5
70	–	–	–	–	–	2839,4	2918,3	2987,0
80	–	–	–	–	–	2786,8	2878,7	2955,3
90	–	–	–	–	–	–	2834,3	2920,9
100	–	–	–	–	–	–	2783,5	2883,4
110	–	–	–	–	–	–	2723,5	2841,7
120	–	–	–	–	–	–	–	2794,7
130	–	–	–	–	–	–	–	2740,6
140	–	–	–	–	–	–	–	2675,7
150	–	–	–	–	–	–	–	–
160	–	–	–	–	–	–	–	–
180	–	–	–	–	–	–	–	–
200	–	–	–	–	–	–	–	–
250	–	–	–	–	–	–	–	–

[Табл. 2.1] Параметры перегретого водяного пара

Удельная энтальпия перегретого пара (кДж/кг) в зависимости от давления (бар) и температуры (°C)								Давление p бар
360	380	400	420	440	460	480	500	
3196,0	3237,0	3278,2	3319,7	3361,4	3403,4	3445,6	3488,1	1
3194,2	3235,4	3276,7	3318,3	3360,1	3402,1	3444,5	3487,0	2
3192,4	3233,7	3275,2	3316,8	3358,8	3400,9	3443,3	3486,0	3
3190,6	3232,1	3273,6	3315,4	3557,4	3399,7	3442,1	3484,9	4
3188,8	3230,4	3272,1	3314,0	3356,1	3398,4	3441,0	3483,8	5
3187,0	3228,7	3270,6	3312,6	3354,8	3397,2	3439,8	3482,7	6
3185,2	3227,1	3269,0	3311,2	3353,4	3395,9	3439,6	3481,6	7
3183,4	3225,4	3267,5	3309,7	3352,1	3394,7	3437,5	3480,5	8
3181,6	3223,7	3266,0	3308,3	3350,8	3393,5	3436,3	3479,4	9
3179,7	3222,0	3264,4	3306,9	3349,5	3392,2	3435,1	3478,3	10
3177,9	3220,3	3262,9	3305,4	3348,1	3391,0	3434,0	3477,2	11
3176,0	3218,7	3261,3	3304,0	3346,8	3389,7	3432,8	3476,1	12
3174,1	3217,0	3259,2	3302,5	3345,4	3388,5	3431,6	3475,0	13
3172,3	3215,3	3258,2	3301,1	3344,1	3387,2	3430,5	3473,9	14
3170,4	3213,5	3256,6	3299,7	3342,8	3386,0	3429,3	3472,8	15
3168,5	3211,8	3255,0	3298,2	3341,4	3384,7	3428,1	3471,7	16
3164,7	3208,4	3251,9	3295,3	3338,7	3382,2	3425,8	3469,5	18
3160,8	3204,9	3248,7	3292,4	3336,0	3379,7	3423,4	3467,3	20
3156,9	3201,4	3245,5	3289,4	3333,3	3377,1	3421,1	3465,1	22
3153,0	3197,8	3242,3	3386,5	3330,6	3374,6	3418,7	3462,9	24
3149,0	3194,3	3239,0	3283,5	3327,8	3372,1	3416,3	3460,6	26
3145,0	3190,7	3235,8	3280,5	3325,1	3369,5	3413,9	3458,4	28
3140,9	3187,0	3232,5	3277,5	3322,3	3367,0	3411,6	3456,2	30
3136,8	3183,4	3229,2	3274,5	3319,5	3364,4	3409,2	3454,0	32
3132,7	3179,7	3225,9	3271,5	3316,8	3361,8	3406,8	3451,7	34
3128,4	3175,9	3222,5	3268,4	3314,0	3359,2	3404,4	3449,5	36
3124,2	3172,2	3219,1	3265,4	3311,2	3356,6	3402,0	3447,2	38
3119,9	3168,4	3215,7	3262,3	3308,3	3354,0	3399,6	3445,0	40
3115,5	3164,5	3212,3	3259,2	3305,5	3351,4	3397,7	3442,7	42
3111,1	3160,6	3208,8	3256,0	3302,6	3348,8	3394,7	3440,5	44
3106,7	3156,7	3205,3	3252,9	3299,8	3346,2	3392,3	3438,2	46
3102,2	3152,8	3201,8	3249,7	3296,9	3343,5	3389,8	3435,9	48
3097,6	3148,8	3198,3	3246,6	3294,0	3340,9	3387,4	3433,7	50
3085,9	3138,6	3189,3	3238,5	3286,7	3334,2	3381,2	3427,9	55
3074,0	3128,3	3180,1	3230,3	3279,3	3327,4	3375,0	3422,2	60
3049,1	3106,7	3161,2	3213,5	3264,2	3313,7	3362,4	3410,6	70
3022,7	3084,2	3141,6	3196,2	3248,7	3299,7	3349,6	3398,8	80
2994,8	3060,5	3121,2	3178,2	3232,7	3285,3	3336,5	3386,8	90
2964,8	3035,7	3099,9	3159,7	3216,2	3270,5	3323,2	3374,6	100
2932,8	3009,6	3077,8	3140,5	3199,4	3255,5	3309,6	3362,2	110
2898,1	2982,0	3054,8	3120,7	3182,0	3240,0	3295,7	3349,6	
2860,2	2952,7	3030,7	3100,2	3164,1	3224,2	3281,6	3336,8	130
2818,1	2921,4	3005,6	3079,0	3145,8	3208,1	3267,1	3323,8	140
2770,8	2887,7	2979,1	3057,0	3126,9	3191,5	3252,4	3310,6	150
2716,5	2851,1	2951,3	3034,2	3107,5	3174,5	3237,4	3297,1	160
2569,1	2766,6	2890,3	2985,8	3066,9	3139,4	3206,5	3269,6	180
–	2660,2	2820,5	2932,9	3023,7	3102,7	3174,4	3241,1	200
–	–	2582,0	2774,1	2901,7	3002,3	3088,5	3165,9	250

Параметры перегретого водяного пара [Табл. 2.1]

Давление p бар	Удельная энтальпия перегретого пара (кДж/кг) в зависимости от давления (бар) и температуры (°C)							
	200	220	240	260	280	300	320	340
1	2,172	2,266	2,359	2,453	2,546	2,639	2,732	2,824
2	1,0804	1,1280	1,1753	1,2224	1,2693	1,3162	1,3629	1,4095
3	0,7164	0,7486	0,7805	0,8123	0,8438	0,8753	0,9066	0,9379
4	0,5343	0,5589	0,5831	0,6072	0,6311	0,6549	0,6785	0,7021
5	0,4250	0,4450	0,4647	0,4841	0,5034	0,5226	0,5416	0,5606
6	0,3520	0,3690	0,3857	0,4021	0,4183	0,4344	0,4504	0,4663
7	0,2929	0,3147	0,3292	0,3435	0,3575	0,3714	0,3852	0,3989
8	0,2608	0,2740	0,2869	0,1995	0,3119	0,3241	0,3363	0,3483
9	0,2303	0,2423	0,2539	0,2653	0,2764	0,2874	0,2983	0,3090
10	0,2059	0,2169	0,2276	0,2379	0,2480	0,2580	0,2678	0,2776
11	0,1859	0,1961	0,2060	0,2155	0,2248	0,2339	0,2429	0,2518
12	0,1692	0,1788	0,1879	0,1968	0,2054	0,2139	0,2222	0,2304
13	0,1551	0,1641	0,1727	0,1810	0,1890	0,1969	0,2046	0,2123
14	0,1429	0,1515	0,1596	0,1674	0,1749	0,1823	0,1896	0,1967
15	0,1324	0,1406	0,1483	0,1556	0,1628	0,1697	0,1765	0,1832
16	–	0,1310	0,1383	0,1453	0,1521	0,1587	0,1651	0,1714
18	–	0,1150	0,1217	0,1282	0,1343	0,1402	0,1460	0,1517
20	–	0,1021	0,1084	0,1144	0,1200	0,1255	0,1308	0,1360
22	–	0,09152	0,09752	0,10309	0,10837	0,11343	0,11833	0,12311
24	–	–	0,08839	0,09367	0,09863	0,10336	0,10793	0,11237
26	–	–	0,08064	0,08567	0,09037	0,09483	0,09912	0,10328
28	–	–	0,07397	0,07880	0,08328	0,08751	0,09156	0,09548
30	–	–	0,06816	0,07283	0,07712	0,08116	0,08500	0,08871
32	–	–	0,06305	0,06759	0,07173	0,07559	0,07926	0,08279
34	–	–	–	0,06295	0,06695	0,07068	0,07419	0,07756
36	–	–	–	0,05880	0,06270	0,06630	0,06968	0,07291
38	–	–	–	0,05508	0,05888	0,06237	0,06564	0,06875
40	–	–	–	0,05172	0,05544	0,05883	0,06200	0,06499
42	–	–	–	0,04865	0,05231	0,05562	0,05870	0,06160
44	–	–	–	0,04585	0,04946	0,05270	0,05569	0,05850
46	–	–	–	0,04328	0,04685	0,05003	0,05294	0,05568
48	–	–	–	–	0,04444	0,04757	0,05042	0,05309
50	–	–	–	–	0,04222	0,04530	0,04810	0,05070
55	–	–	–	–	0,03733	0,04034	0,04302	0,04549
60	–	–	–	–	0,03317	0,03614	0,03874	0,04111
70	–	–	–	–	–	0,02946	0,03198	0,03420
80	–	–	–	–	–	0,02426	0,02681	0,02896
90	–	–	–	–	–	–	0,02269	0,02484
100	–	–	–	–	–	–	0,01926	0,02147
110	–	–	–	–	–	–	0,01628	0,01864
120	–	–	–	–	–	–	–	0,01619
130	–	–	–	–	–	–	–	0,01401
140	–	–	–	–	–	–	–	0,01200
150	–	–	–	–	–	–	–	–
160	–	–	–	–	–	–	–	–
180	–	–	–	–	–	–	–	–
200	–	–	–	–	–	–	–	–
250	–	–	–	–	–	–	–	–

[Табл. 2.1] Параметры перегретого водяного пара

Удельная энтальпия перегретого пара (кДж/кг) в зависимости от давления (бар) и температуры (°C)								Давление p бар
360	380	400	420	440	460	480	500	
2,917	3,010	3,102	3,195	3,288	3,380	3,473	3,565	1
1,4561	1,5027	1,5492	1,5956	1,6421	1,6885	1,7349	1,7812	2
0,9691	1,0003	1,0314	1,0625	1,0935	1,1245	1,1556	1,1865	3
0,7256	0,7491	0,7725	0,7959	0,8192	0,8426	0,8659	0,8892	4
0,5795	0,5984	0,6172	0,6359	0,6547	0,6734	0,6921	0,7108	5
0,4821	0,4979	0,5136	0,5293	0,5450	0,5606	0,5762	0,5918	6
0,4125	0,4261	0,4396	0,4531	0,4666	0,4801	0,4935	0,5069	7
0,3603	0,3723	0,3842	0,3960	0,4078	0,4196	0,4314	0,4432	8
0,3197	0,3304	0,3410	0,3516	0,3621	0,3726	0,3831	0,3936	9
0,2873	0,2969	0,3065	0,3160	0,3256	0,3350	0,3445	0,3540	10
0,2607	0,2695	0,2782	0,2870	0,2956	0,3043	0,3129	0,3215	11
0,2386	0,2467	0,2547	0,2627	0,2707	0,2787	0,2866	0,2945	12
0,2198	0,2273	0,2348	0,2422	0,2496	0,2570	0,2643	0,2716	13
0,2038	0,2108	0,2177	0,2246	0,2315	0,2384	0,2452	0,2520	14
0,1898	0,1964	0,2029	0,2094	0,2158	0,2223	0,2287	0,2350	15
0,1777	0,1838	0,1900	0,1961	0,2021	0,2082	0,2142	0,2202	16
0,1573	0,1629	0,1684	0,1738	0,1793	0,1847	0,1900	0,1954	18
0,1411	0,1461	0,1511	0,1561	0,1610	0,1659	0,1707	0,1756	20
0,12780	0,13243	0,13700	0,14152	0,14602	0,15048	0,15492	0,15934	22
0,11672	0,12100	0,12522	0,12940	0,13355	0,13766	0,14175	0,14582	24
0,10734	0,11133	0,11526	0,11914	0,12299	0,12681	0,13061	0,13438	26
0,09929	0,10303	0,10671	0,11035	0,11395	0,11752	0,12106	0,12458	28
0,09232	0,09584	0,09931	0,10273	0,10611	0,10946	0,11278	0,11608	30
0,08621	0,08955	0,09283	0,09606	0,09925	0,10241	0,10554	0,10865	32
0,08082	0,08400	0,08711	0,09017	0,09319	0,09618	0,09915	0,10209	34
0,07603	0,07906	0,08202	0,08494	0,08781	0,09065	0,09347	0,09626	36
0,07174	0,07464	0,07747	0,08025	0,08300	0,08570	0,08838	0,09104	38
0,06787	0,07066	0,07338	0,07604	0,07866	0,08125	0,08381	0,08634	40
0,06437	0,06706	0,06967	0,07222	0,07474	0,07722	0,07967	0,08209	42
0,06119	0,06378	0,06630	0,06876	0,07117	0,07355	0,07590	0,07823	44
0,05828	0,06079	0,06321	0,06559	0,06791	0,07020	0,07247	0,07470	46
0,05561	0,05604	0,06039	0,06268	0,06493	0,06714	0,06931	0,07147	48
0,05316	0,05551	0,05779	0,06001	0,06218	0,06431	0,06642	0,06849	50
0,04780	0,05001	0,05213	0,05419	0,05620	0,05817	0,06011	0,06202	55
0,04330	0,04539	0,04738	0,04931	0,05118	0,05302	0,05482	0,05659	60
0,03623	0,03812	0,03992	0,04165	0,04331	0,04494	0,04653	0,04809	70
0,03088	0,03265	0,03431	0,03589	0,03740	0,03887	0,04030	0,04170	80
0,02669	0,02837	0,02993	0,03140	0,03280	0,03415	0,03546	0,03674	90
0,02331	0,02493	0,02641	0,02779	0,02911	0,03036	0,03158	0,03276	100
0,02049	0,02208	0,02351	0,02483	0,02608	0,02726	0,02840	0,02950	110
0,01811	0,01969	0,02108	0,02236	0,02355	0,02467	0,02575	0,02679	
0,01604	0,01764	0,01902	0,02025	0,02140	0,02247	0,02350	0,02440	130
0,01421	0,01586	0,01723	0,01844	0,01955	0,02059	0,02157	0,02251	140
0,01256	0,01428	0,01566	0,01686	0,01794	0,01895	0,01989	0,02080	150
0,01104	0,01287	0,01427	0,01546	0,01653	0,01751	0,01842	0,01929	160
0,008104	0,01040	0,01191	0,01311	0,01416	0,01510	0,01597	0,01678	180
–	0,008246	0,009947	0,01120	0,01224	0,01315	0,01399	0,01477	200
–	–	0,006014	0,007580	0,008696	0,009609	0,01041	0,01113	250

Параметры насыщенного водяного пара по температурам

Температура насыщенного пара t_s (°C)	Абсолютное давление p (бар)	Удельная теплоемкость Cp (кДж/кгК)	Динамическая вязкость 106 x η (кг/мс)
100	1,01	2,135	11,968
110	1,43	2,177	12,459
120	1,98	2,207	12,851
130	2,69	2,257	13,243
140	3,62	2,315	13,538
150	4,76	2,395	13,930
160	6,18	2,479	14,323
170	7,93	2,583	14,715
180	10,04	2,709	15,107
190	12,56	2,856	15,598
200	15,56	3,023	15,990
210	19,10	3,199	16,383
220	23,21	3,408	16,873
230	27,97	3,634	17,364
240	33,49	3,881	17,756
250	39,79	4,158	18,247
260	46,96	4,468	18,835
270	55,07	4,815	19,326
280	64,22	5,234	19,914
290	74,48	5,694	20,601
300	85,94	6,281	21,288

Удельная теплоемкость и динамическая вязкость насыщенного пара в зависимости от его температуры (t_s)

Примечание.

- Абсолютное давление = избыточное давление + 1 [бар].
- Коэффициент перерасчета из «кДж/кг» в «кВтч/кг»
  1 кДж/кг = 1/3600 кВтч/кг

- Плотность (ρ) = $\frac{\text{кинематическая вязкость 1}}{\text{удельный объем (}\nu\text{)}}$ [кг/м^2].

- Кинематическая вязкость (ν) = $\frac{\text{динамическая вязкость (}\eta\text{)}}{\text{плотность (}\rho\text{)}}$ [м^2/с].

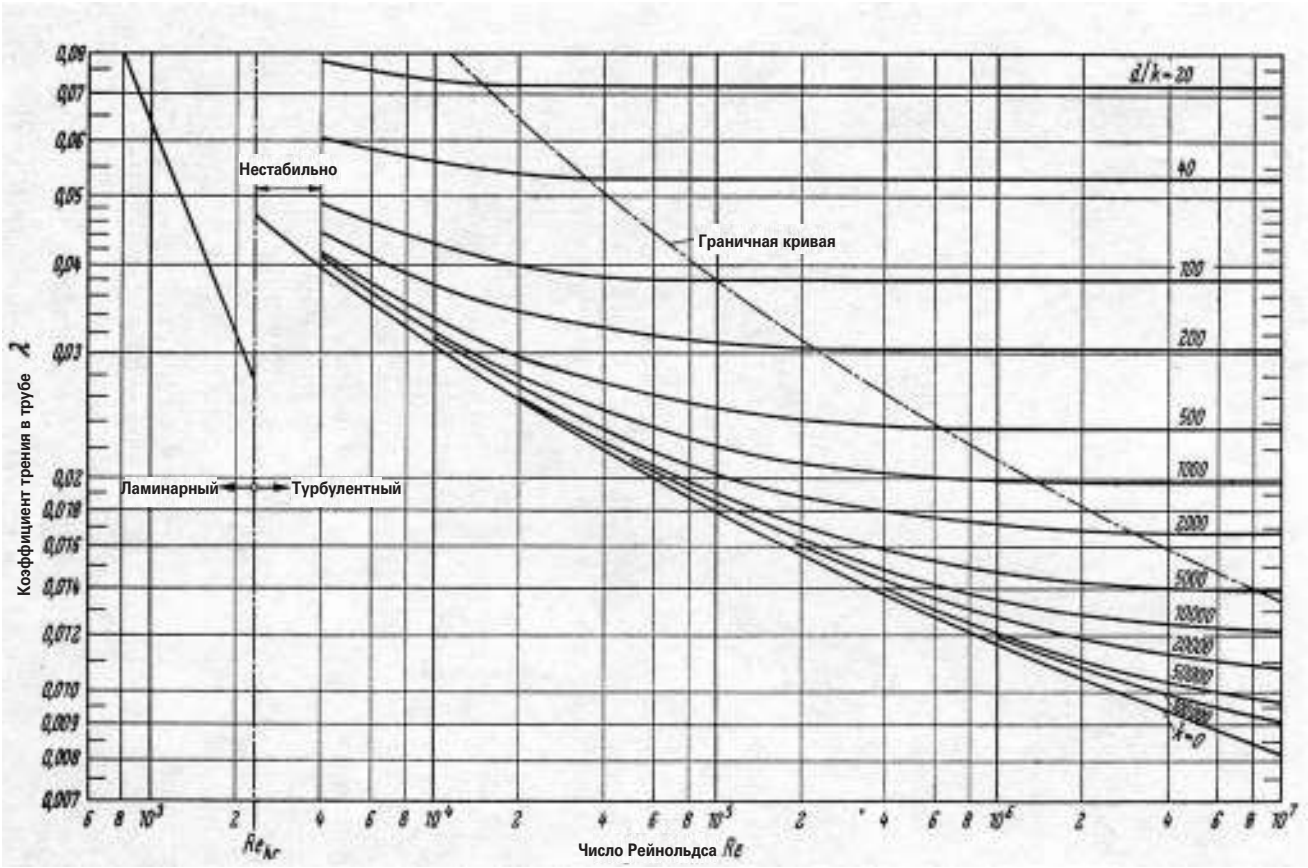
[Табл. 3.0] Внутренняя шероховатость труб

Внутренняя шероховатость труб (k) в мм для труб и различных материалов

Трубы			**Абсолютная шероховатость (k) в мм**
Материал	**Вид**	**Состояние**	
Медь **Латунь** **Бронза** **Легкий металл** **Стекло**	Тянутые или пресованные	Новые (также стальные трубы с оболочкой)	0,0013 ÷ 0,0015
Резина	Напорный рукав	Новые нехрупкие	0,002
Пластик		Новые	0,0015 ÷ 0,0070
Сталь	Бесшовные (стандартные)	Новые: - прокатные, - травленные, - оцинкованные	0,02 ÷ 0,06 0,03 ÷ 0,04 0,07 ÷ 0,10
	Сварные по продольному шву	Новые: - прокатные, - битумированные, - гальванизированные	0,04 ÷ 0,10 0,01 ÷ 0,05 0,008
	Бесшовные и сварные по продольному шву	Бывшие в употреблении: - средне поржавевшие или легкие	0,1 ÷ 0,2
Чугун		Новые: - с литейной коркой, - битумированные	0,2 ÷ 0,6 0,1 ÷ 0,2
		Бывшие в употреблении	0,5 ÷ 1,5
Асбест / цемент		Новые	0,03 ÷ 0,1
Бетон		Новые: - тщательно затертые, - обработанные - средней шероховатости, - шероховатые	0,1 ÷ 0,2 0,3 ÷ 0,8 1 ÷ 2 2 ÷ 3

Коэффициент трения в трубе в зависимости от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости d/k.

Коэффициент трения в трубе / число Рейнольдса [Табл. 3.1]

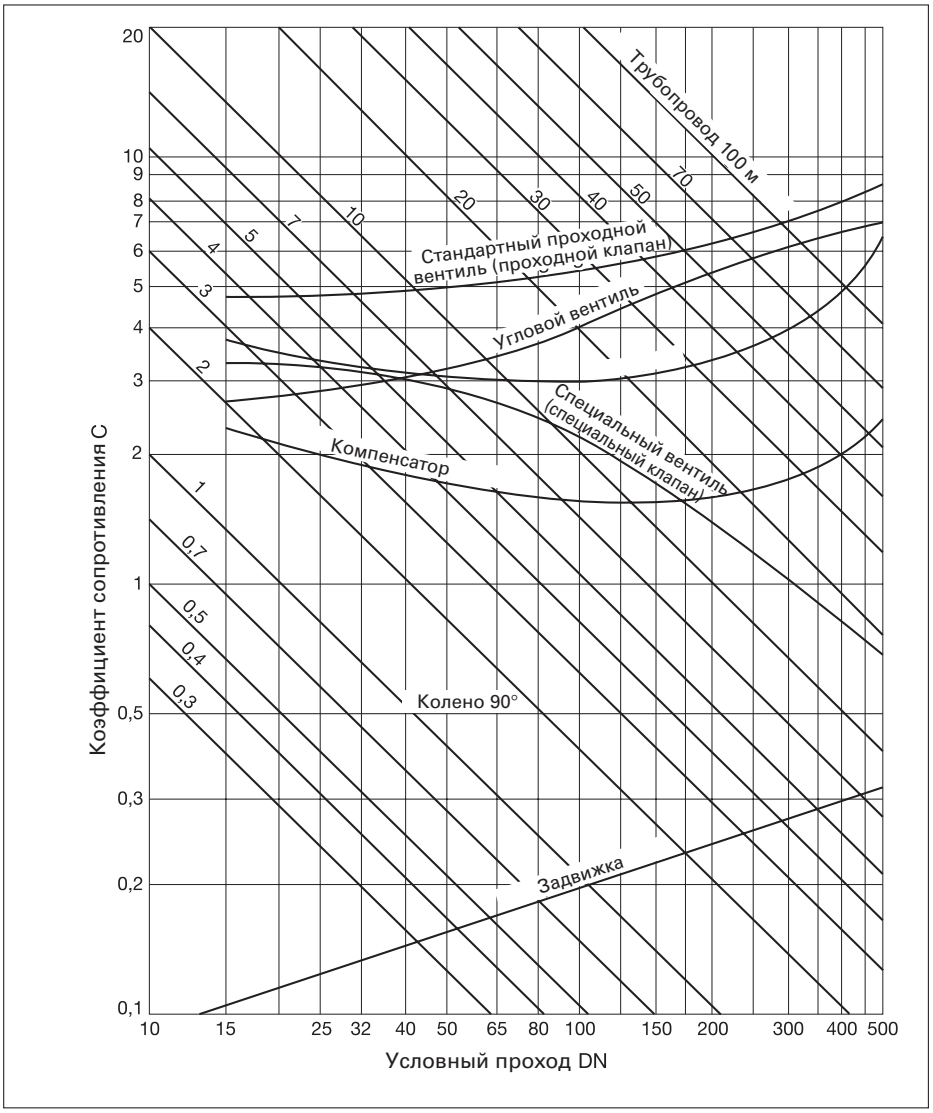


[Табл. 4.0] Падение давления в паропроводах

$$\Delta p = C \frac{\rho w^2}{2}$$

Арматура и фитинги: $C = \zeta$
Трубы: $C = \lambda$ l/d с λ = 0,0206 по Эберле, Δp в Pa

Для заданных элементов трубопровода с одинаковым условным проходом на основании рис. 4 определяется сопротивление C. Путем суммирования всех значений C и с учетом исходных данных на основании рис. 5. определяется общее значение падения давления Δp в барах.

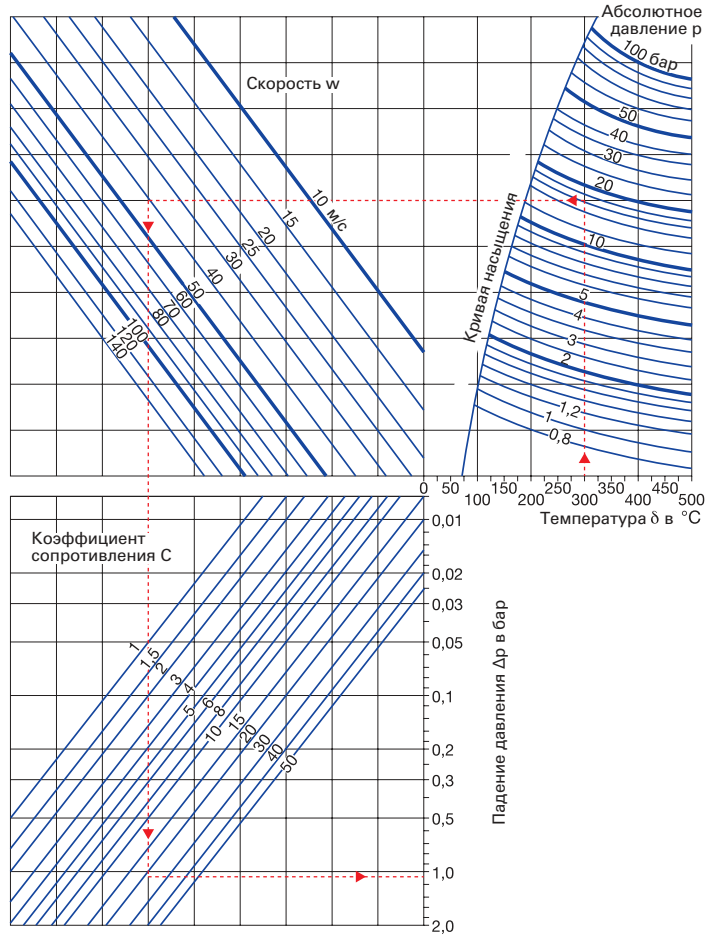


(источник: GESTRA)

Падение давления в паропроводах (пример) [Табл. 4.1]

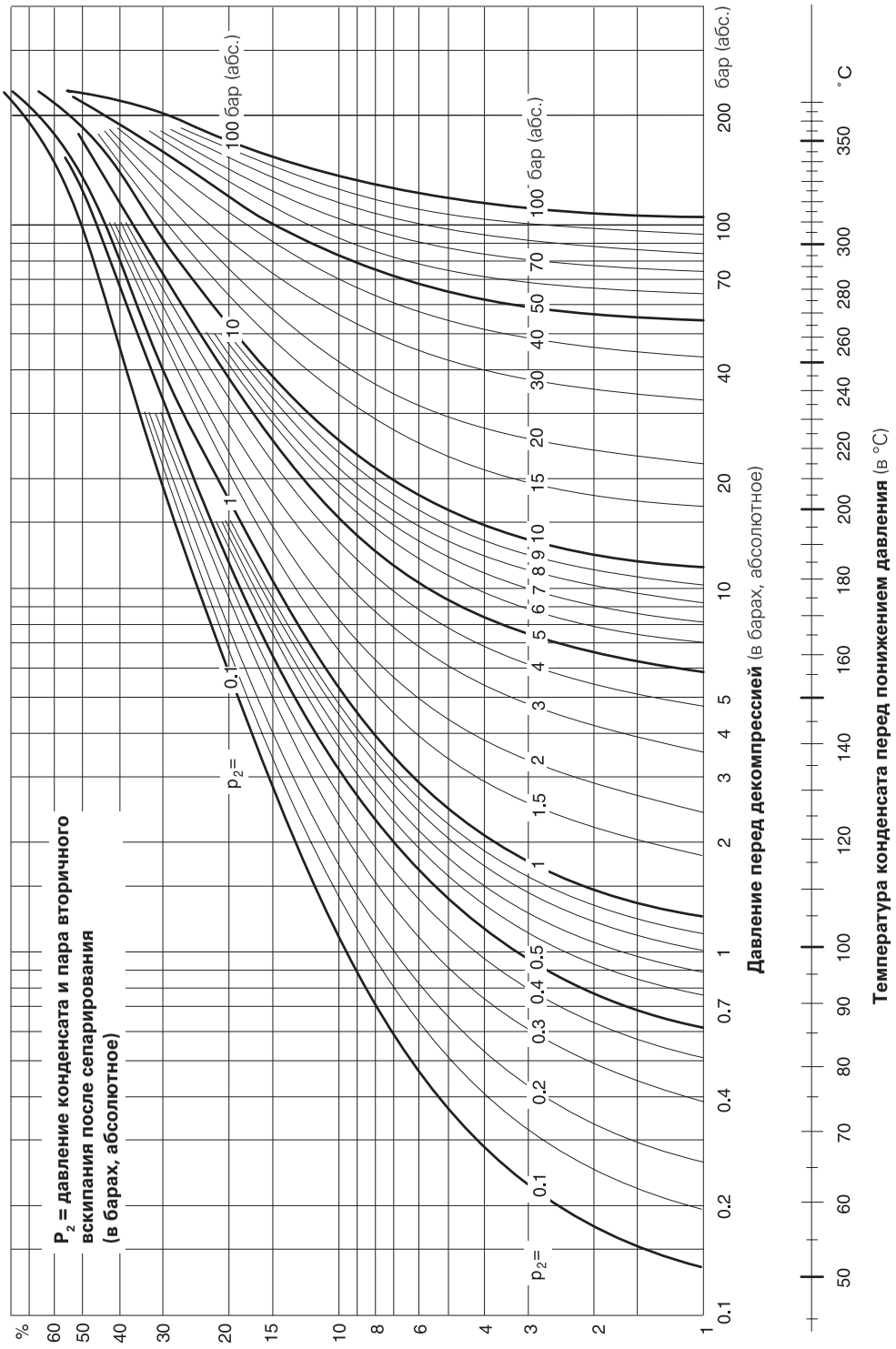
Пример.

Элементы трубопровода DN 50:		Исходные данные:	
20 м трубопровод	C = 8,11	Температура	t = 300 °C
1 шт. угловой вентиль	C = 3,32	Давление пара абс.	p = 16 бар
2 шт. специальные вентили	C = 5,6	Скорость	w = 40 м/с
1 шт. Тройник	C = 3,1		
2 шт. колено трубопровода 90 °	C = 1,0		
	∑C = 21,1	Результат:	Δp = 1,1 бар



(источник: GESTRA)

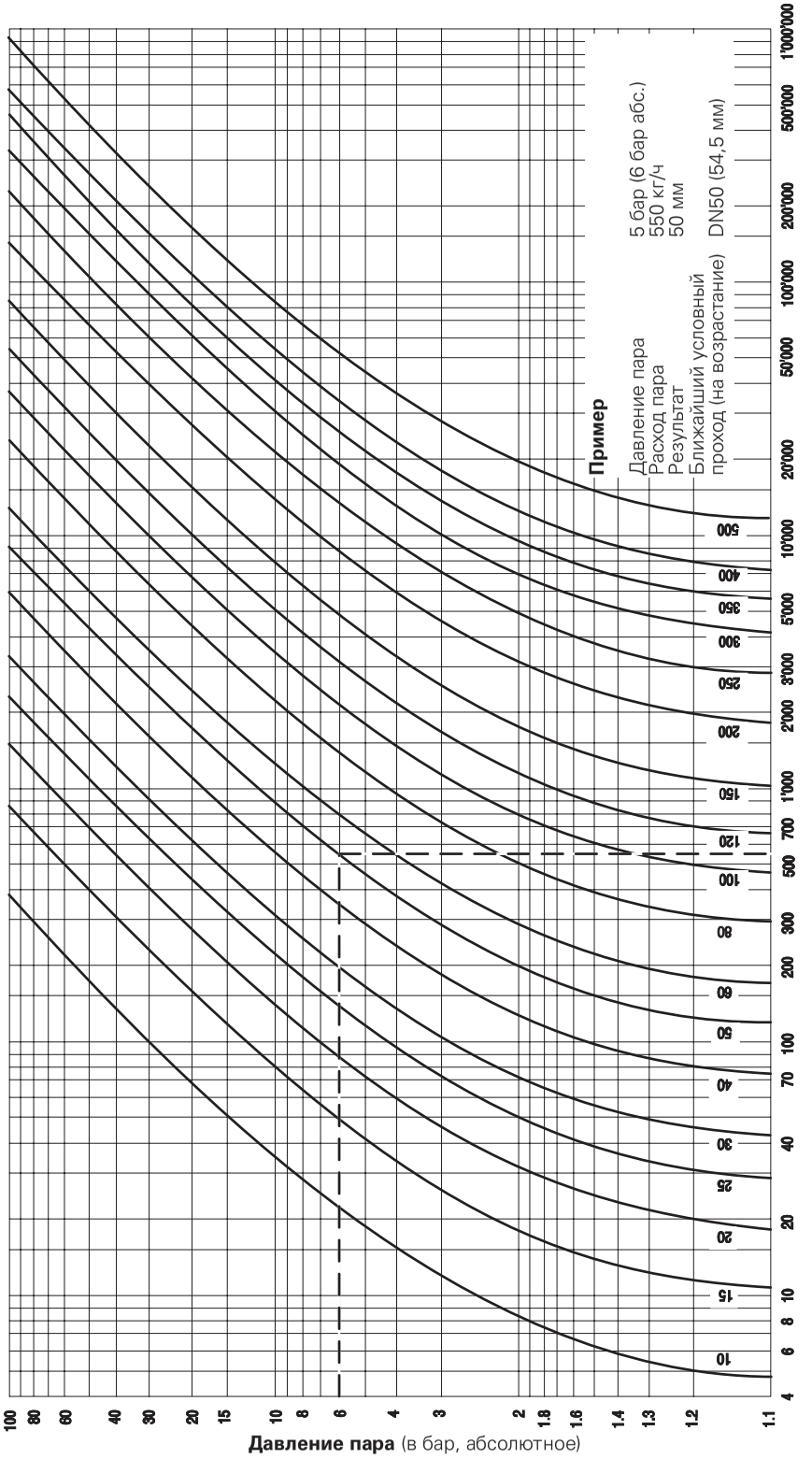
[Табл. 6] Пар вторичного вскипания при сепарировании



кг пара вторичного вскипания каждые 100 кг конденсата или пара вторичного вскиппания в %

(источник: Spirax Sarco.)

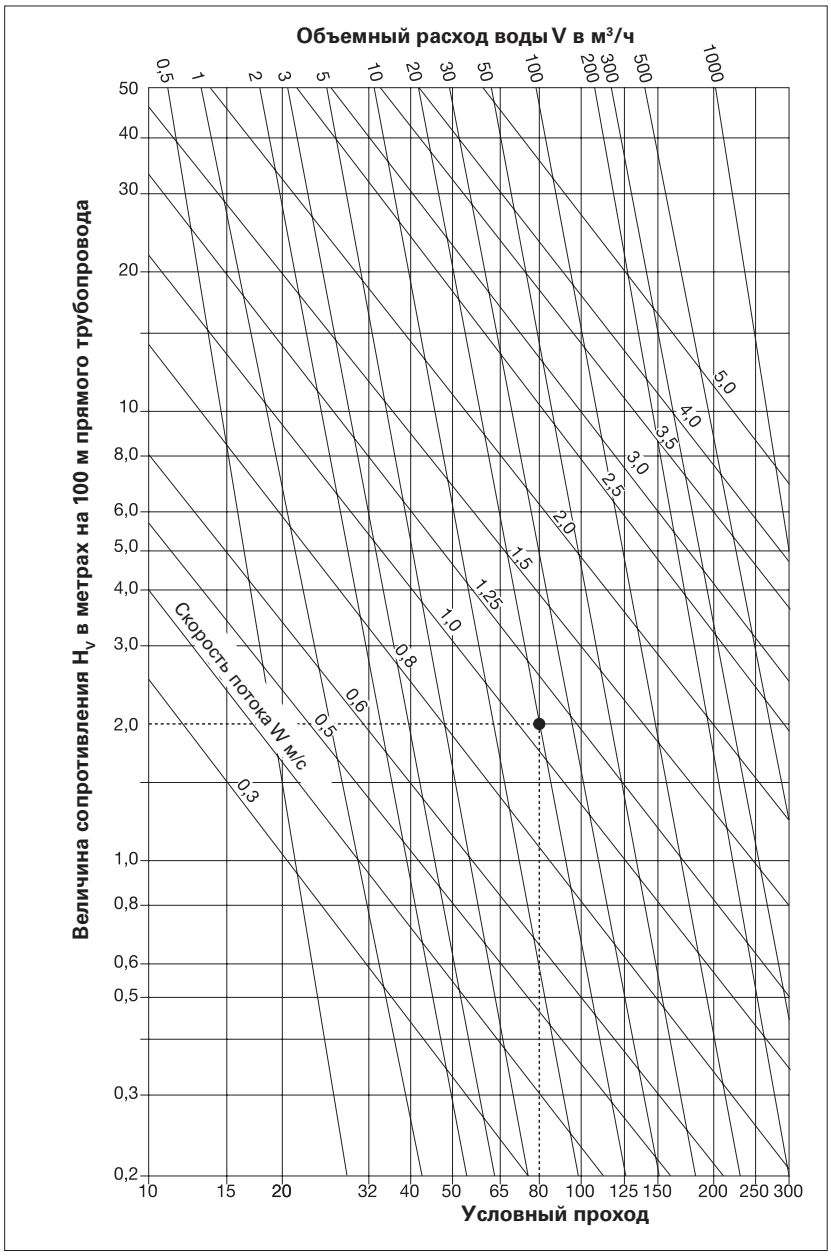
Поперечное сечение трубопровода при заданных параметрах пара (пример) [Табл. 7]



Внутренний диаметр бесшовных стальных труб согласно EN 10220 «ISO-Rohre» при стандартной толщине

Номинальный диаметр DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
Внутренний диаметр мм	13.6	17.3	22.3	28.5	37.2	43.1	54.5	70.3	82.5	107	132	159	207	260	310	340	389

[Табл. 8] Гидродинамическое сопротивление (пример)



(источник: GESTRA.)

Скорость потока (ориентировочные значения) [Табл. 9]

Скорость потока (ориентировочные значения) (w):

Вид трубопровода	Диапазон давления P (бар)	Скорость потока w (м/с)
Паропроводы:		
Влажный пар	≤ 10	10- 20
Насыщенный пар	≤ 1 > 1 до ≤ 5 > 5 до ≤ 10 > 10 до ≤ 40 > 40 до ≤ 100	10- 15 15- 25 25- 35 35- 40 40 до ≤ 60
Перегретый пар: как для насыщенного пара, но с учетом более высокой скорости		
Трубопровод после предохранительного клапана, а также охладителя выпара [a)]	По отношению к атмосферному давлению	≤ 70
Трубопровод после сепаратора непрерывной продувки (открытые системы)	По отношению к атмосферному давлению	10- 25
Магистральный паропровод	< 40	≤ 20
Водопровод:		
Конденсатные трубопроводы и системы	Всасывающий трубопровод	≥ 0,5 до ≤ 1
	Напорный трубопровод	≥ 1 до ≤ 3
Трубопровод питательной воды	Всасывающий трубопровод	≥ 0,5 до ≤ 1
	Напорный трубопровод	≥ 2 до ≤ 3,5
Трубопровод щелочного раствора котла и трубопровод периодической продувки (без учета пара вторичного вскипания)		≥ 1 до ≤ 2
Трубопровод щелочного раствора котла и трубопровод периодической продувки (с учетом пара вторичного вскипания)	≤ 1 > 1 до ≤ 5	10- 15 15- 20
Трубопроводы питьевой и сточной вод		≥ 1 до ≤ 2
Трубопровод сетевой выды	Всасывающий трубопровод	≥ 0,5 до ≤ 1,5
	Напорный трубопровод	≥ 1,0 до ≤ 3,5
Напорные трубопроводы		≥ 10 до ≤ 20
Трубопровод природного газа	до ≤ 0,05 > 0,05 до ≤ 1 > 1 до ≤ 6	≥ 3 до ≤ 8 ≥ 5 до ≤ 10 > 10 до ≤ 25
Трубопровод жидкого топлива	Всасывающий трубопровод	≥ 0,2 до ≤ 1
	Напорный трубопровод	≥ 0,5 до ≤ 1,5
Каналы воздуха для сжигания топлива	Всасывающий трубопровод	≥ 8 до ≤ 20
	Напорный трубопровод	≥ 15 до ≤ 30
Каналы продуктов сгорания	До подключения к дымовой трубе	≥ 8 до ≤ 15

[Табл. 10] Опросный лист для проверки состояния парового котла

Эксплуатация паровых котельных установок Часть I – Общие требования для пользователя паровых котельных установок для паровых котлов категории IV Издано: июнь 1983 г. (без изменений 8/93)							TRD 601 Эксплуатация Приложение 1 EN 12953 T6, Приложение C (см. также 18.3)
Опросный лист для паровой котельной установки (паровые и водогрейные котлы) (S – осмотр, наблюдение возникающих шумов; F – проверка функциональности)							
См. раздел TRD 601 Лист 2	Уход, техническое обслуживание, осмотр	24 часа / 72 часа BosB	1 неделя	1 месяц	6 месяцев	12 месяцев	Вид проверки (примеры)
3.2.1	Предохранительные клапаны**	S		F*	F*		Нагнетание воздуха
3.2.2	Уровень воды – Индикатор уровня воды	F			F*		Продувка и для котлов с p < 32 бар
3.2.3	Уровень воды	S					Сравнение индикации с непосредственно показываемым уровнем воды
3.2.4	Охладитель отбора проб	F					Проходимость
3.2.5	Регулятор уровня воды	S			F*		Продуваемость и проходимость
3.2.6	Ограничитель уровня воды				F*		Продуваемость или снижение до уровня включения
3.2.7	Ограничитель потока						Снижение протока
3.2.9/12	Регулятор температуры или давления	S			F*		Проведение сравнительных замеров
3.2.10/13	Ограничитель температуры или давления	S			F*		Изменение заданных величин / проверочные клавиши
3.2.8/11	Индикатор температуры или давления	S					Контроль с применением прецизионного термометра / контроль нулевой точки
3.2.14	Оборудование для опорожнения и непрерывной продувки	F			F*		Путем приведения в действие
3.2.15	Котловая арматура	S					Путем приведения в действие
3.3.1	Оборудование для питания и циркуляции	S		F			Путем переменной эксплуатации
3.3.2	Анализ питательной и котловой воды	X					Путем химического анализа согласно TRD 611
3.3.3	Приборы для обнаружения в котловой воде сторонних примесей	S		F			Нажатие клавиши
3.4.1	Концевой выключатель клапана дымовых газов				F*		Закрытие и повторное открытие клапана
3.4.2	Регулятор горелки (исполнительные элементы для воздуха и топлива)				F*		Проходимость
3.4.3	Вентилятор воздуха для горения, вентилятор воздуха для розжига и/или охлаждающего воздуха	S			F*		Бесшумность работы, передача усилия (н-р: клиновой ремень)
3.4.4	Индикация давления воздуха и его количества и реле давления воздуха					F*	Прерывание импульсной цепи
3.4.5	Запорное оборудование для топлива	S		F			Проходимость
3.4.6	Топливные емкости и топливные трубопроводы / арматура	S					Проходимость, герметичность
3.4.7	Индикация давления топлива	S		F			
3.4.8	Запорные предохранительные устройства перед горелкой	S		F			Проходимость, герметичность
3.4.9	Устройства контроля герметичности или промежуточного удаления воздуха	S		F			
3.4.10	Концевой выключатель горелки						Поворот (откидывание) горелки, потянуть пику горелки
3.4.11	Экстренный выключатель		F		F*		Включение
3.4.12	Зажигание	S					
3.4.13	Проветривание	S			F*		
3.4.14	Контроль пламени	S		F			Путем затемнения зонда
3.4.15	Оценка процесса горения	S					
3.4.16	Оценка камеры сгорания и газохода				F*		
3.4.17	Аварийный выключатель			F			

F*– При проверке каждые 6 месяцев (согласно TRD) или EN 12953 T6 Приложение G).

**** Проверку предохранительных клапанов для установок с полностью опресненной водой следует проводить как минимум каждые 6 месяцев. Для других паровых котлов период не должен превышать 4 недели.**

Список литературы

(L1) - TRD-Technische Regeln für Dampfkessel, Ausgabe 2002
(L2) - Handbuch der Kessel-Betriebstechnik / 11. Auflage, Verlag Dr. Ingo Resch, 2005
(L3) - Dampfkesselrecht/Druckgeräterichtlinie – Richtlinie 97/˝23/EG, 2004
(L4) - Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und Dampfkessel-Anlagen, Friedrich & Karl Nüber, R. Oldenburg München, 1967
(L5) - Taschenbuch für Heizung, Klima-Technik, R. Oldenburg München, 1995
(L6) - Technisches Handbuch Wasseraufbereitungsanlagen, Verlag Technik Berlin, 1968
(L7) - Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen, Vogel Buchverlag, 1994
(L7.1) - Rohrleitungstechnik, Vogel Buchverlag, 1993
(L8) - Beispiele und Übungsaufgaben zur chemischen Verfahrenstechnik, Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1963
(L9) - VDI-Wärmeatlass, VDI Verlag, 1994
(L10) - Handbuch Wärme, Resch Verlag, 1991
(L11) - Gestra-Wegweiser, Bremen, 2005
(L12) - Arbeitsblätter – Spirax/Sarco



Индивидуальные решения с эффективными системами

Комплексное предложение Viessmann
Комплексная программа Viessmann предлагает индивидуальные решения с применением энергоэффективных систем для всех видов энергоносителей любой мощности.
Являясь пионером в вопросах экологической безопасности, компания Viessmann уже на протяжении десятилетий поставляет энергоэффективные и экологичные отопительные системы, работающие на газе и жидком топливе, с использованием солнечной энергии, возобновляемых источников энергии и природного тепла земли, воды и воздуха.

Широкий диапазон мощности
Комплексная программа Viessmann предлагает передовые технологии и задает тон в области отопительного оборудования.
Благодаря высокому уровню энергоэффективности системы Viessmann помогают сэкономить расходы на отопление и являются правильным выбором.
Все продукты Viessmann соответствуют действующим на территории Европы законам о снижении уровня эмиссий в окружающую среду.
Viessmann считает себя обязанным обеспечить максимально возможную защиту окружающей среды и экономию природных ресурсов.

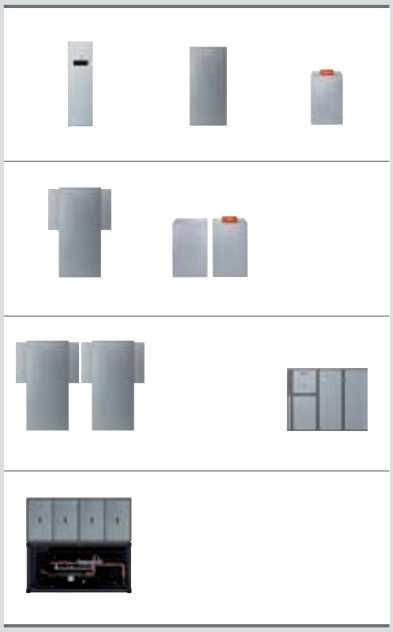
Твердотопливные котлы

4 – 13 000 кВт



Энергия воздуха, воды и земли

1,5 – 2000 кВт



Климатическая техника



Системные компоненты



Комплексная программа Viessmann:
индивидуальные решения с эффективными системами для всех источников энергии и сфер применения.

Для этого компания использует лучшую технику для производства тепла.
Это могут быть системы отопления индивидуальной комплектации, с котлами настенного или напольного исполнения, экономичные и соответствующие требованиям завтрашнего дня.

Для каждого случая Viessmann предлагает эффективное решение:

- Конденсационная техника
- Солнечные коллекторы
- Тепловые насосы
- Твердотопливные котлы
- Когенерационные установки
- Установки для производства биогаза
- Сервисная служба

Фирма Viessmann разрабатывает и производит инновационное отопительное оборудование, которое отличается высоким качеством, энергоэффективностью и долгим сроком службы. Многие из этих продуктов стали вехами в сфере развития отопительной техники.

Viessmann Group

VIESMANN
KWT
KÖB
MAWERA
ESS
BIOFERM
Schmack
Carbotech
HKB
VIESMANN climate of innovation
norpe

Комплексная программа Viessmann

	Индивидуальные дома	Многоквартирные дома	Промышленность	Тепловые сети
Жидкотопливные водогрейные и паровые котлы 13 – 116 000 кВт	 Дом архитекторов, Германия	 Жилой квартал в Пхеньяне	 Ангар самолетов A380, Пекин	 Европейский парламент, Страсбург
Газовые водогрейные и паровые котлы 13 – 116 000 кВт	 Коттедж Kevelaer, Германия	 Жилой оазис, Регенсбург, Германия	 Порше, Лейпциг, Германия	 Европейский парламент, Брюссель, Бельгия
Солнечные коллекторы	 Солнечный дом, Фрейбург, Германия	 Торговый центр, Гамбург, Германия	 Город будущего, Мальме, Швеция	 Пальмовый остров, Дубаи
Твердотопливные котлы 4 – 13 000 кВт	 Коттедж, Вислоу, Германия	 Отель Cavalese, Италия	 Зал конгрессов, Норвегия	 Замок Святого Оттлинга, Германия
Энергия воздуха, воды и земли 1,5 – 2 000 кВт	 Лофт-куб, Новый Ульм, Германия	 Сеть отелей, Бранденбург, Германия	 Университетская библиотека, Бамберг, Германия	 Выставочный комплекс, Швейцария

Будущее определяется настоящим. Инновационная отопительная техника.

Всемирное потребление энергии удвоилось с 1970 года и до 2030 года увеличится троекратно. Вследствие увеличения энергопотребления уменьшаются запасы ископаемого жидкого топлива и газа, и увеличивается его стоимость.
Кроме этого, увеличение вредных выбросов все более и более негативно влияет на окружающую нас среду. Энергетическая эффективность отопительного оборудования необходима, если мы хотим гарантировать будущее следующему поколениям.
Во всех ведущих индустриальных государствах наиболее значимыми секторами потребления тепла являются сектора теплоснабжения жилых домов и коммерческих и производственных объектов – таким образом, эти сектора имеют самый большой потенциал для экономии.
Современные энергоэффективные отопительные системы от Viessmann применяются не только в индивидуальном или муниципальном строительстве, но и также обеспечивают теплом и электрической энергией промышленные и производственные объекты, внося, таким образом, важный вклад в экономию энергетических ресурсов и сохранение окружающей среды.

Многочисленные выдающиеся разработки и решения, которые стали ориентирами в области отопления, сделали компанию Viessmann технологическим лидером в своей отрасли.
С 16 заводами в Германии, Франции, Канаде, Польше, Венгрии, Австрии, Швейцарии и Китае, с 37 крупными центрами сбыта, а также 120 филиалами по всему миру, компания Viessmann всегда ориентирована на своих потребителей.



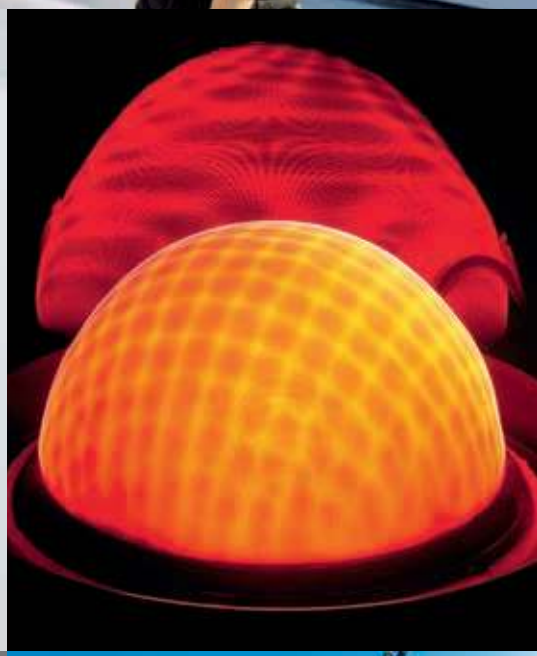
Город будущего в Мальме, Швеция.














Audi
VIESMANN
VIESMA
Clima

Viessmann – climate of innovation

Группа компаний Viessmann – это семейное предприятие, которое до сих пор росло и развивалось за счет только собственных сил. Между тем партнерство также способствует росту компании.
Сегодня к группе компаний Viessmann относятся специалисты в области твердотопливных котлов Köb и Mawera, производители тепловых насосов KWT, компания ESS, занимающаяся производством когенерационных установок, а также BIOFerm и Schmack, являющиеся лидерами в области производства биогазовых установок.

Комплексная программа для всех видов топлива в широком диапазоне мощности
Viessmann является международной компанией с широким спектром производимого оборудования для тепло- и электроснабжения, использующим различные источники энергии.
На протяжении уже многих лет мы поставляем нашим заказчикам наиболее энергоэффективное и экологичное теплоэнергетическое оборудование.

Комплексная программа поставок
Комплексная программа Viessmann предлагает индивидуальное решение для любого случая от одного производителя.
Предлагаемое оборудование позволяет использовать все виды топлива и многие виды альтернативных источников энергии.
На протяжении многих лет мы поставляем нашим партнерам высокоэффективное и экологичное теплоэнергетическое оборудование.

Эффективность Плюс
В рамках этого продолжительного проекта «Эффективность Плюс» компания Viessmann внедряет экологическую программу развития до 2020 года, которая тесно связывает между собой экономическую деятельность с экологической и социальной ответственностью.

Этот проект служит для:
- Защиты окружающей среды
- Ресурсосбережения
- Обеспечения экологической безопасности

Как результат – экономия потребления ископаемого топлива на 40% и снижение выбросов CO_2 на треть.

Viessmann Group

О фирме
- Год основания: 1917
- Сотрудников: 11400
- Оборот: 2,1 млрд евро
- Экспорт: 55 Prozent
- 27 производственных объекта в 11 странах
- Представительства в 74 странах
- 120 офисов продаж по всему миру

Комплексная программа
- Котлы для ж. т. и газа
- Солнечные коллекторы
- Настенные и напольные котлы
- Тепловые насосы
- Твердотопливные котлы
- Когенерационные установки
- Биогазовые установки
- Системные принадлежности



Эффективность Плюс



Фирма Viessmann в 2009 году была награждена высшей немецкой наградой в области энергоэффективности и защиты окружающей среды.



Собственное производство компании Viessmann в Аллендорфе в Германии оценено как наиболее энергоэффективное в 2010 году с присуждением премии Energy Efficiency Award 2010.

Руководство по проектированию паровой котельной установки

Адаптированно для России отделом
промышленного оборудования
ООО «Виссманн»

129337, г. Москва
Ярославское шоссе, д. 42

Тел.: +7 495 663 21 11
Факс.: +7 495 663 21 12
E-mail.: info@viessmann.com

www.viessmann.ru
www.viessmannrus.com

© 2014 ООО «Виссманн»

Авторское право

Все права защищены. Тексты, фотографии, изображения, графики защищены законом об авторском праве. Использование этих файлов требует предварительного согласования с ООО «Виссманн».
Если не указано другое, то все используемые товарные знаки защищены законом о товарных знаках.
Данное руководство было подготовлено с максимальной тщательностью. Несмотря на это ООО «Виссманн» не может гарантировать безошибочность и точность содержащейся на нем информации.
Любая ответственность за возможные убытки исключена, если только последние не были причинены по злому умыслу или грубой халатности.

VIESMANN

Для заметок

VIESMANN

climate of innovation

ООО «Виссманн»
129337, Москва,
Ярославское шоссе, 42
Телефон: 8 (495) 663 2111
Факс 8 (495) 663 2112
www.viessmann.ru

RU 11/2014

Содержание проспекта защищено авторскими правами.
Любое использование информации в коммерческих целях после согласования
с ООО «Виссманн».