

Руководство для инженеров

Абсорбционные холодильные машины Thermax Проектирование и обвязка

Пар, горячая вода, газ и выхлоп ГПУ:
подбор, расчёты, схемы, компоновка, автоматика, нормы

Хладоцентр: АБХМ Thermax на газе + 2 градирни NCT

Градирня №2 предохлаждает воду с 40 до 25 °С, машина доохлаждает до 15 °С, градирня №1 охлаждает машину. Типовая схема, не проект.



Содержание

Введение	5
1. Когда АБХМ имеет смысл, а когда нет	7
2. Что проектировщику важно знать об устройстве машины	9
3. Выбор типа машины	11
4. Исходные данные: опросный лист	13
5. Расчёты с примерами	14
6. Обвязка паровой машины	20
7. Обвязка машины на горячей воде	24
8. Газовая машина и машина на выхлопе	27
9. Контур охлаждающей воды	34
10. Компоновка машинного зала	37
11. Автоматика, блокировки, пуск и останов	39
12. Качество воды	41
13. Российские нормы	42
14. Типичные ошибки проекта	43
15. Частые вопросы проектировщиков	44
16. Чек-лист проверки проекта	45
17. Объекты: абсорбционные машины Thermax, поставленные «Энергией Холода»	46
Следующий шаг	47
Словарь терминов	48
Список литературы	49

Список рисунков

Рисунок 1	Хладоцентр с абсорбционной машиной и двумя градирнями: так выглядит то, что вы проектируете	6
Рисунок 2	Принцип работы: генератор выпаривает воду из раствора, конденсатор её конденсирует, испаритель делает холод, абсорбер возвращает пар в раствор ...	8
Рисунок 3	Три контура и теплоисточник. Всё, что за фланцем машины, — зона проекта и монтажа	10
Рисунок 4	Четыре источника тепла и что каждый требует от объекта	11
Рисунок 5	АБХМ и электрический чиллер в одной станции: последовательная и параллельная схемы	12
Рисунок 6	Одноступенчатая АБХМ грузит градирню вдвое сильнее электрического чиллера той же мощности	14
Рисунок 7	Пять процентов воды в паре — это четыре процента недоданного холода и разбитое седло клапана	16
Рисунок 8	Котельная видит пуск АБХМ как скачок потребления пара	17
Рисунок 9	АБХМ на паре: пар и конденсат слева, холодная вода и градирня справа	20
Рисунок 10	Паровой узел по ходу пара	21
Рисунок 11	Конденсат течёт вниз самотёком до отводчика и только потом его поднимают	22
Рисунок 12	АБХМ на горячей воде: греющий контур слева, три контура машины и градирня справа	24
Рисунок 13	Греющий контур крупно: трёхходовой клапан стоит на подаче, до насоса машины	25
Рисунок 14	Две правильные схемы и одна самостоятельность	26
Рисунок 15	АБХМ прямого горения: газ от ГРП через рампу в горелку, дым в трубу, воздух на горение через жалюзи	27
Рисунок 16	Газовая рампа горелки по ходу газа	28
Рисунок 17	Контроль герметичности двойного клапана: реле ловит протечку любого из двух клапанов до розжига	28
Рисунок 18	Давление снижают по ступеням: сначала газовая служба, потом рампа	29
Рисунок 19	Дымоход держит лёгкое разрежение на выходе машины, конденсат уходит через гидрозатвор	30
Рисунок 20	Общая труба: две заслонки и метр по вертикали; общий коллектор — нельзя ..	31
Рисунок 21	Воздуха в зал входит не меньше, чем уходит через горелку и вытяжку	32
Рисунок 22	Режимы меняют затворами по таблице, а не по памяти оператора	32
Рисунок 23	Минимум охлаждающей воды — паспортная цифра модели, а не общее правило для АБХМ	34
Рисунок 24	Байпас сбрасывает в бассейн, а блокировка перекрывает охлаждающую воду, если встала холодная	35
Рисунок 25	Фланцы «одного диаметра» не собираются: болты не попадают в отверстия	38
Рисунок 26	Блокировки АБХМ: нет холодной воды — нет охлаждающей	39
Рисунок 27	Насос холодной воды включается первым и выключается последним	40

Список таблиц

Таблица 1	АБХМ не подходит, если	7
Таблица 2	Выбор типа машины	11
Таблица 3	Исходные данные: опросный лист	13
Таблица 4	Тепловой баланс и сброс тепла в градирню	14
Таблица 5	Расход охлаждающей воды и испарение на 1000 кВт холода	15
Таблица 6	Удельный расход пара и подбор конденсатоотводчика	15
Таблица 7	Сухость пара и потери тепла	15
Таблица 8	Расход горячей воды	17
Таблица 9	Газ, воздух на горение и дымоход	18
Таблица 10	Электрическая нагрузка	19
Таблица 11	Сквозной пример: тригенерация, АБХМ 1000 кВт на горячей воде от ГПУ	19
Таблица 12	Элементы обвязки паровой машины к рисунку 9	20
Таблица 13	Минимальная температура охлаждающей воды	34
Таблица 14	Компоновка машинного зала	37
Таблица 15	Качество воды	41
Таблица 16	Российские нормы	42
Таблица 17	Типичные ошибки проекта	43
Таблица 18	Объекты: абсорбционные машины Thermax, поставленные «Энергией Холода»	46

Введение

К ЧИТАТЕЛЮ

Дорогие коллеги! Это руководство. Он объясняет, как устроена абсорбционная машина и почему обвязку делают так, а не иначе, и даёт цифры для проверки расчёта. Но каждый объект живёт по своим условиям: свой пар, своя котельная, свои нормы экспертизы. Если сомневаетесь в цифре, в порядке действий или в том, подходит ли правило к вашему проекту, уточните у своего руководителя или у нашего инженера, прежде чем закладывать решение в проект. Спросить — это профессионально; ошибиться «потому что так было в руководстве» — нет.

Для кого руководство и какой это уровень. Это уровень 3 «Инженерный»: расчёты, подбор, схемы, проект. Кому какие разделы:

- **проектировщик раздела ХС** — всё руководство, в первую очередь разделы 4–11 и чек-лист 16;
- **ГИП и главный инженер заказчика** — разделы 1–4 (нужна ли АБХМ и какая) и раздел 14 (типовые ошибки);
- **проектировщик тепломеханики, газоснабжения, дымоудаления** — разделы 6–8 и 13;
- **проектировщик автоматики (АХС)** — разделы 9 и 11;
- **эксперт и технический надзор** — раздел 14 и чек-лист 16.

Руководство написано для инженера, которому завтра выпускать раздел ХС (холодоснабжение) с абсорбционной машиной, а опыта с АБХМ мало или нет. Порядок разделов повторяет порядок работы над проектом:

- **разделы 1–3** — решить, нужна ли здесь АБХМ вообще и какая;
- **раздел 4** — собрать исходные данные, без которых машину не подобрать;
- **раздел 5** — посчитать теплоисточник, градирню, насосы, газ, дымоход, нагрузки;
- **разделы 6–9** — нарисовать обвязку пара, горячей воды, газа, выхлопа и охлаждающей воды;
- **разделы 10–13** — компоновка, автоматика, качество воды, нормы;
- **разделы 14–16** — типовые ошибки, частые вопросы, чек-лист проверки проекта.

Все цифры в руководстве — из каталогов и инструкций Thermax (руководство ZE20, экспортные инструкции серий 2В и 2V, брошюры Trane-Thermax), ответов завода на вопросы наших инженеров и проектов, выполненных «Энергией Холода». Где документы производителя расходятся между собой, это сказано прямо. **Рабочая цифра для проекта — всегда из листа технических данных конкретной модели на ваш режим:** его выдаём мы бесплатно по опросному листу (раздел 4).

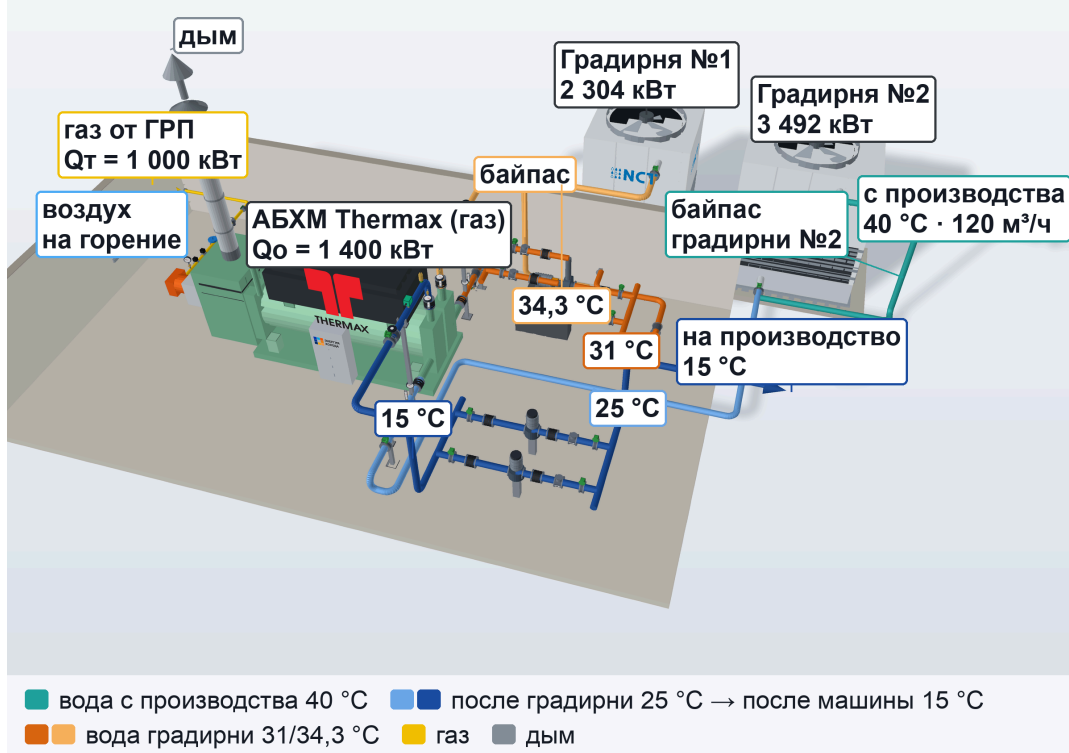
ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем проектировщику. «Энергия Холода» — эксклюзивный партнёр Thermax в России с 2011 года и производитель градирен, чиллеров, насосных групп и автоматики NCT в Санкт-Петербурге. Проектировщику заказчика бесплатно: подбор машины на ваш режим, основные технические решения (ОТР) и типовые схемы обвязки, консультация инженера, проверка готового раздела ХС до экспертизы.

Рисунок 1 Хладоцентр с абсорбционной машиной и двумя градирнями: так выглядит то, что вы проектируете

Хладоцентр: АБХМ Thermax на газе + 2 градирни NCT

Градирня №2 предохлаждает воду с 40 до 25 °С, машина доохлаждает до 15 °С, градирня №1 охлаждает машину. Типовая схема, не проект.



1. Когда АБХМ имеет смысл, а когда нет

Абсорбционная холодильная машина (АБХМ) делает холод не из электричества, а из тепла: пара, горячей воды, газа или выхлопа двигателя. Электричество ей нужно только на насосы раствора и автоматику — **5–10 кВт на 1 МВт холода**. Компрессорному чиллеру на ту же мощность нужно около 200–300 кВт.

Отсюда простое правило: АБХМ выигрывает там, где тепло дешёвое или бесплатное, а электрическая мощность дорогая или её нет.

АБХМ уместна, если:

- на площадке есть бросовое тепло **от 80 °С**: горячая вода котельной летом, рубашка и выхлоп газопоршневой установки (ГПУ), пар после технологии, тепло печей;
- не хватает электрической мощности, а техприсоединение — это годы и отдельный бюджет;
- есть газ и его лимит, а электричество дорогое (газовая машина прямого горения);
- нужна тригенерация: электричество, тепло и холод от одного источника;
- нагрузка длинная: **3000–4000 часов в год и больше** — тогда окупаемость 3–5 лет.

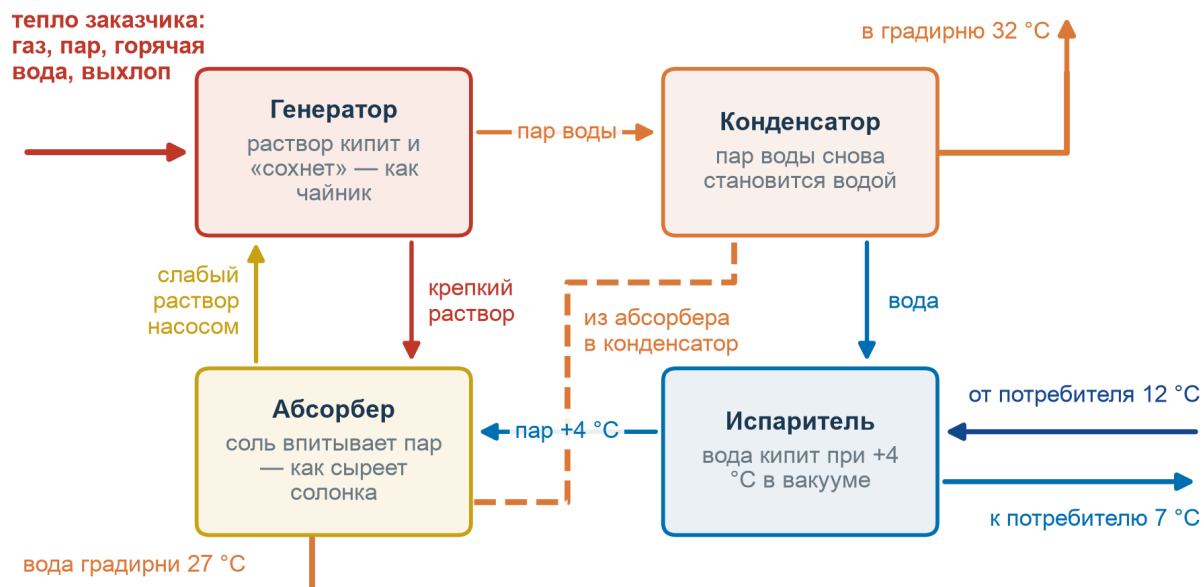
Таблица 1 АБХМ не подходит, если

Условие	Почему	Что вместо
Нет источника тепла и не планируется	Машину нечем греть	Компрессорный чиллер
Холод меньше 100 кВт	Удельно дорого, мало моделей	Компрессорный чиллер
Нужна температура ниже –5 °С	Граница бромистолитиевой абсорбции около –5 °С, на гликоле	Компрессорный чиллер на гликоле
Объект работает меньше 2000 ч/год	Не окупится	Компрессорный чиллер
Нет места под градирню	Машине обязательно нужен отвод тепла водой	Пересмотреть площадку или схему
Газ дороже 11 ₽/м ³ или электричество дешевле 5 ₽/кВт·ч	Газовая схема теряет экономический смысл	Компрессорный чиллер или машина на бросовом тепле
Нет нормальной воды на подпитку и не будет водоподготовки	Накипь и коррозия трубок	Сначала водоподготовка, потом АБХМ

Какой холод даёт АБХМ. Стандарт — холодная вода +7 / +12 °С. Рабочий диапазон — от 0 до +25 °С на выходе; машины на горячей воде серий LT и 5G — от 3,5 °С, газовые 2V — до 1 °С на воде и до –2 °С на гликоле; специальные исполнения — до –5 °С. Глубже — только компрессорная машина.

Рисунок 2 Принцип работы: генератор выпаривает воду из раствора, конденсатор её конденсирует, испаритель делает холод, абсорбер возвращает пар в раствор

Как абсорбционная машина делает холод из тепла



Что из этого следует

В градирню уходит тепло потребителя плюс всё тепло источника. Поэтому у АБХМ градирня больше, чем у чиллера, а слишком холодная вода градирни грозит кристаллизацией крепкого раствора.

2. Что проектировщику важно знать об устройстве машины

Хладагент в АБХМ — обычная вода, абсорбент — раствор бромистого лития (LiBr). Внутри глубокий вакуум, поэтому вода кипит при 3–5 °С и отбирает тепло у холодной воды потребителя. Из этого следуют пять вещей, которые определяют весь проект.

1. У машины три водяных контура и теплоисточник, а не два, как у чиллера:

- холодная вода (испаритель → потребитель);
- охлаждающая вода (абсорбер и конденсатор → градирня);
- греющая среда (пар или горячая вода в генератор);
- у газовой машины вместо греющей среды — горелка и дымоход.

2. В градирню уходит и тепло потребителя, и всё тепло источника. Поэтому градирня у АБХМ в 1,5–2 раза больше, чем у чиллера той же мощности (раздел 5.1).

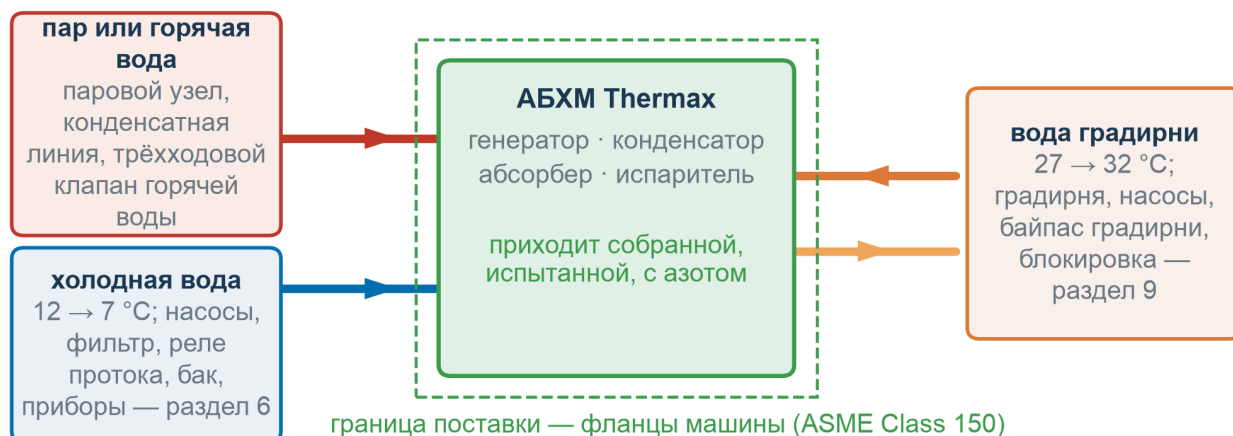
3. Раствор боится холода. Слишком холодная вода с градирни переохлаждает концентрированный раствор, и соль выпадает кристаллами — машина встаёт. Отсюда обязательный байпас градирни и минимальная температура охлаждающей воды (раздел 9).

4. Машину нельзя «просто выключить». При останове она уходит в разбавительный цикл, чтобы раствор не закристаллизовался при остывании. Это задаёт последовательность насосов и требования к питанию (раздел 11).

5. Машина работает на плёночном орошении трубок. Поэтому допуск на горизонтальность жёсткий: **не больше 1 мм на 1000 мм** вдоль и поперёк (раздел 10).

Одно- и двухступенчатые машины. Одноступенчатая (один генератор) работает на низкопотенциальном тепле — горячей воде 70–110 °С или паре низкого давления, тепловой коэффициент (COP — отношение холода к затраченному теплу) около **0,7**. Двухступенчатая (генераторы высокой и низкой температуры) требует пара 4–9 бар, газа или выхлопа, зато даёт COP **1,30–1,45** — почти вдвое больше холода с той же тонны пара.

Три контура АБХМ и теплоисточник: где кончается машина



За пунктиром — зона подрядчика

Такелаж, фундамент, внешние трубы, изоляция труб, проводка по объекту, горелка и дымоход у газовой машины — подрядчик или заказчик. Трёхходовой клапан горячей воды Thermax предоставляет, только если он записан в объём поставки: сверять спецификацию до отгрузки.

Всё, что за фланцем машины, — зона подрядчика, и именно там живут ошибки

3. Выбор типа машины

Рисунок 4 Четыре источника тепла и что каждый требует от объекта

Четыре источника тепла: что каждый требует от объекта

Горячая вода LT, 5G, HS, 2G	Пар SS; SD, 2B
— подача от 80 °C (LT — от 70 °C, мощность ниже) — обратка и расход — цифрами — трёхходовой клапан на входе в машину — насос на подаче в машину	— давление у клапана: 2B — номинал 8 кгс/см² — сухость 99 % — сепаратор — перегрев не более 10 °C — возврат конденсата: противодавление до 10 м вод. ст.
Газ 2V, GD	Выхлоп ГПУ, ГТУ машины на выхлопе
— лимит газа и технические условия — перед горелкой 60–100 мбар, выше — редуцирование — дымоход: на выходе 0–5 мм вод. ст. — приточный воздух, газовые правила	— выхлоп 275–600 °C, зависит от нагрузки — противодавление — по паспорту двигателя — трёхходовой отводящий клапан — режим зима / лето
Общее у всех У всех четырёх одна общая часть: холодная вода, мокрая градирня с байпасом, насосы и тёплое помещение. Отличается только вход тепла — его заказчик готовит сам.	

Таблица 2 Выбор типа машины

Источник тепла	Серии Thermax	Ступени	COP	Параметры источника	Главный вопрос к объекту
Горячая вода	LT (Cogenie), 5G, HS, 2G	одна	около 0,7	70–110 °C; номинал LT 90,6/85 °C, 5G 90/80 °C; экономически — от 80 °C	Какая подача и обратка, сколько воды и в какие часы
Пар низкого давления	SS	одна	около 0,7	пар низкого давления (в нашем проекте — 3 кгс/см ² , 143 °C)	Давление у клапана, сухость, возврат конденсата
Пар	SD, 2B	две	1,30–1,45	2B: 1,4–9,9 бар, номинал 8 кгс/см ² изб., максимум 10,5	Кто ещё берёт пар и что в пик
Газ, прямое горение	2V, GD	две	1,40–1,45	газ 60–100 мбар перед горелкой; 2V — 175–5450 кВт	Лимит газа и технические условия
Выхлоп ГПУ, ГТУ	машины на выхлопных газах	одна или две	по паспорту	выхлоп 275–600 °C, номинал 460 → 180 °C	Допустимое противодавление двигателя

Как выбрать между одно- и двухступенчатой на паре. Если пара 5 бар и больше и бюджет позволяет — двухступенчатая: вдвое меньше пара на тот же холод. Если пар низкого давления или бюджет ограничен — одноступенчатая. Решение стоит посчитать в двух вариантах на горизонте 10 лет: разница в паре за сезон часто больше разницы в цене машин.

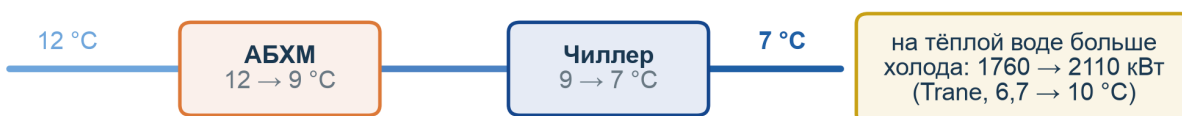
Как выбрать между АБХМ и чиллером в одной станции. Частое и правильное решение — не «или», а «и»:

- **последовательно:** АБХМ стоит первой по ходу воды и снимает «тёплую» часть нагрузки ($12 \rightarrow 9^\circ\text{C}$), чиллер доохлаждает до 7°C . На тёплой воде АБХМ даёт больше холода;
- **параллельно:** АБХМ — базовая нагрузка на постоянном расходе, электрический чиллер — пик и резерв. Машина выходит на режим около 30 минут, поэтому в ЦОД и непрерывной технологии рядом нужен буфер или чиллер.

Рисунок 5 АБХМ и электрический чиллер в одной станции: последовательная и параллельная схемы

АБХМ и электрический чиллер в одной станции

Последовательно: АБХМ выше по потоку



Параллельно: АБХМ — база, чиллер — пик и резерв



АБХМ не ставят в переменный первичный расход: Thermax держит расход холодной воды постоянным.

АБХМ — первой по ходу воды или базовой в параллель, всегда на постоянном расходе

ВНИМАНИЕ

АБХМ не ставят в схему с переменным первичным расходом. Расход холодной воды через испаритель Thermax должен быть постоянным: реле протока отключает машину при падении ниже 50 % номинала. Переменный расход делают во вторичном контуре.

4. Исходные данные: опросный лист

Без этих данных машину подобрать нельзя, а подбор «на глаз» оборачивается недоданной мощностью в первое же лето. Опросный лист мы присылаем по запросу; ниже — его содержание и то, что будет, если ошибиться.

Таблица 3 Исходные данные: опросный лист

Параметр	Откуда взять	Что будет, если ошибиться
Холодопроизводительность и график нагрузки по часам и месяцам	Технолог, расчёт теплопритоков	Машина не дотягивает в пик или работает на 20 % мощности
Температуры холодной воды вход/выход, среда (вода, гликоль и концентрация)	Технолог, проект ОВ	Другая модель, другой расход
Тип источника тепла	Главный энергетик	—
Пар: давление у машины, сухость, перегрев, кто ещё потребляет, температура возврата конденсата	Котельная, режимная карта	Недобор мощности, эрозия клапана, лишний расход пара
Горячая вода: подача/обратка, располагаемый расход, график по часам	Котельная, паспорт ГПУ	Недобор мощности, неверный насос
Газ: лимит часовой и годовой, давление в точке подключения, теплота сгорания	Технические условия газовой службы	Отказ в подключении, переделка рампы
Выхлоп: температура и расход при 100, 75, 50 % нагрузки ГПУ, допустимое противодавление двигателя	Поставщик ГПУ	Двигатель теряет мощность
Климат: расчётная температура по мокрому термометру	СП 131.13330, метеоданные площадки	Градирня не держит режим летом
Анализ воды для подпитки градирни	Лаборатория	Накипь и коррозия трубок
Место установки: размеры зала, проёмы, отметка, несущая способность перекрытия	Архитектор, конструктор	Машину не завести или не выдержит перекрытие
Место для градирни	Генплан	Схема не работает

ПРИМЕЧАНИЕ

Холодная вода — «тёплая» лучше. Если технологии хватает 9–10 °С вместо 7 °С, укажите это в опросном листе: машина может получиться на типоразмер меньше.

Чек-лист раздела 4: исходные данные собраны

- ☐ Есть график нагрузки по часам и месяцам, а не одна цифра холода.
- ☐ Параметры теплоисточника подтверждены режимной картой, паспортом ГПУ или техническими условиями.
- ☐ Для пара записано, кто ещё его потребляет и что происходит в пик.
- ☐ Расчётная температура по мокрому термометру взята для площадки, а не «по региону».
- ☐ Есть анализ воды для подпитки и известны размеры зала, проёмы и несущая способность перекрытия.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — запрос на подбор машины отправлять рано.

5. Расчёты с примерами

Формулы простые; главное — не забывать, что у АБХМ свои удельные цифры, отличные от чиллера. Везде ниже: 1 м³/ч воды на 1 К перепада несёт **1,163 кВт**.

5.1. Тепловой баланс и сброс тепла в градирню

Всё, что пришло в машину, уходит в градирню:

Q градирни = Q холода + Q теплоисточника + (мощность насосов, ею пренебрегают)

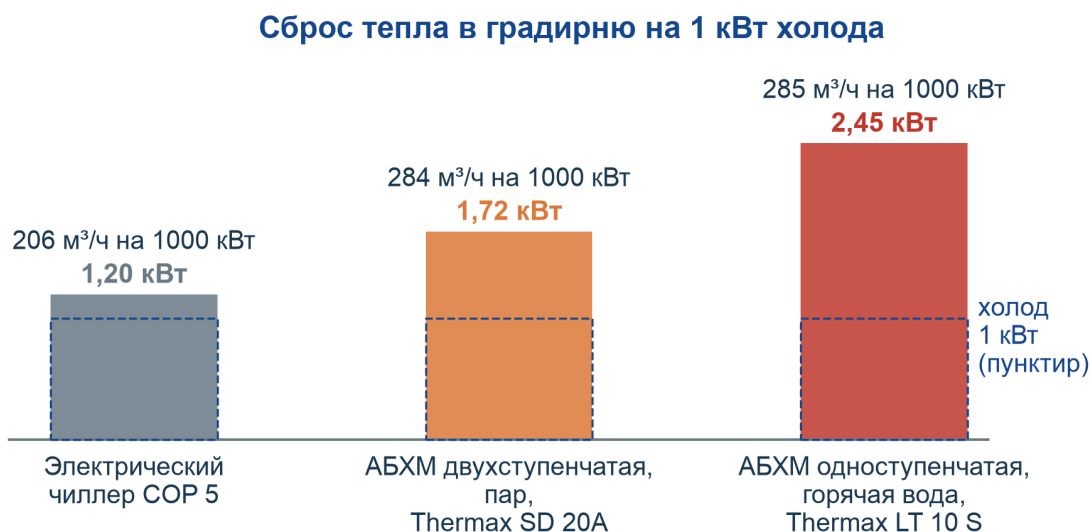
Через COP: **Q градирни = Q холода × (1 + 1 / COP).**

Таблица 4 Тепловой баланс и сброс тепла в градирню

Машина	COP	Сброс на 1 кВт холода	Пример по каталогу Thermax
Электрический чиллер (для сравнения)	5	1,20 кВт	—
АБХМ двухступенчатая на паре	1,40	1,72 кВт	SD 20A: 132 м³/ч, 29,4 → 34,6 °C, 798 кВт на 464 кВт холода
АБХМ одноступенчатая на горячей воде	0,67	2,45 кВт	LT 10 S: 100 м³/ч, 29,4 → 36,8 °C, 861 кВт на 352 кВт холода

Проверка по балансу для LT 10 S: 352 кВт холода + 527 кВт тепла горячей воды = 879 кВт против 861 кВт по каталогу — сходится в пределах точности.

Рисунок 6 Одноступенчатая АБХМ грузит градирню вдвое сильнее электрического чиллера той же мощности



Пересчёт по каталогам

SD 20A: 132 м³/ч × 5,2 К × 1,163 = 798 кВт на 464 кВт холода. LT 10 S: 100 м³/ч × 7,4 К × 1,163 = 861 кВт на 352 кВт. Чиллер: 1 + 1/COP.

Вывод

Градирню, насосы и трубы «как для чиллера» АБХМ не потянет. Недостаточная градирня всплывает в первое жаркое лето.

Одноступенчатая АБХМ грузит градирню вдвое сильнее электрического чиллера той же мощности

Таблица 5 Расход охлаждающей воды и испарение на 1000 кВт холода

Машина	Сброс, кВт	Перепад, К	Расход, м³/ч	Испарение в градирне, м³/ч
Электрический, COP 5	1200	5,0	206	1,8
АБХМ двухступенчатая	1720	5,2	284	2,5
АБХМ одноступенчатая	2450	7,4	285	3,6

Расход $G = Q / (1,163 \times \Delta T)$. Испарение — сброс, делённый на теплоту парообразования около 2430 кДж/кг при 30 °С. Продувку и унос добавляют сверху по циклам концентрирования.

Вывод для проекта: площадь под градирни у АБХМ в 2,3–2,5 раза больше, чем у компрессорной схемы. Насосы, трубы и градирню, подобранные «как для чиллера», АБХМ не потянет — и это всплывает в первое же жаркое лето.

5.2. Расход пара

Формула: $G \text{ пара} = Q \text{ тепла} / (h \text{ пара} - h \text{ конденсата})$, где $Q \text{ тепла} = Q \text{ холода} / \text{COP}$.

Пример — двухступенчатая Thermax SD 20A, 464 кВт холода, пар 8 кгс/см² изб.

1. Энтальпия сухого насыщенного пара при 9 бар абс. — 2773 кДж/кг, конденсата при 90 °С — 377 кДж/кг. Разница 2396 кДж/кг.
2. По каталогу пар — 499 кг/ч. Тепло: $499 \times 2396 / 3600 = 332 \text{ кВт}$.
3. $\text{COP} = 464 / 332 = 1,40$.

Удельный расход для прикидки: двухступенчатая — около **1,075 кг/ч на 1 кВт** холода (пар 8 кгс/см²), одноступенчатая — около **2,36 кг/ч на 1 кВт**.

Таблица 6 Удельный расход пара и подбор конденсатоотводчика

Холод, кВт	Пар, двухступенчатая, кг/ч	Конденсатоотводчик на 1,5 расхода, кг/ч	Пар, одноступенчатая, кг/ч	Конденсатоотводчик, кг/ч
500	538	806	1180	1770
1000	1075	1613	2360	3540
2000	2150	3225	4720	7080
3500	3763	5644	8260	12 390

Ориентир для проверки, рабочая цифра — из листа технических данных машины.

Пример из нашего проекта: одноступенчатая машина 1,64 МВт на паре 3,0 кгс/см², 143 °С — 3499 кг/ч пара.

Сухость пара меняет расход. Машине нужен сухой насыщенный пар со степенью сухости 0,99. Котлы дают 0,95–0,97. Вода в паре не несёт теплоты конденсации, поэтому:

Таблица 7 Сухость пара и потери тепла

Сухость пара	Тепло на 1 кг, кДж	Потеря тепла	Что происходит
0,99 (требование Thermax)	2376	0,8 %	Норма
0,97	2335	2,5 %	Клапан открыт больше обычного
0,95 (типичный котёл)	2294	4,2 %	Клапан у края, эрозия седла

Сухость пара	Тепло на 1 кг, кДж	Потеря тепла	Что происходит
0,90	2193	8,5 %	Гидроудары, мощность не добирается

Пар 8 кгс/см² изб., конденсат 90 °С, теплота конденсации около 2030 кДж/кг.

Рисунок 7 Пять процентов воды в паре — это четыре процента недоданного холода и разбитое седло клапана

Сколько тепла несёт килограмм пара 8 кгс/см² при разной сухости



Сепаратор + конденсатоотводчик
при скорости пара от 15 м/с большинство влагоотделителей сушат пар до 1 % влаги (FAQ)

Редуцирование «мятием»
при снижении давления пар подсушивается — второй способ добрать сухость

Расчёт

Энтальпия пара 2773 кДж/кг при 9 бар абс., конденсата 90 °С — 377 кДж/кг: разница 2396. Каждый процент влаги отнимает около 20 кДж/кг теплоты конденсации. Клапан открывается шире, а когда открываться некуда — машина недодаёт мощность.

Пять процентов воды в паре — это четыре процента недоданного холода

Температура возврата конденсата тоже меняет расход: конденсат 130 °С вместо 90 °С — пара нужно примерно на 8 % больше. Её задаёт конденсатоотводчик и схема, поэтому в проекте она должна стоять цифрой.

Пусковой расход пара. Без ограничения нагрузки при пуске машина берёт пара больше номинала: при перепаде на регулирующем клапане 21 кПа — примерно на 50 %, при 14 кПа — на 75 %, при 28 кПа — на 35 %. Котельную предупреждают заранее, а контроллер настраивают на плавное нагружение.



Котельная видит пуск АБХМ как скачок потребления пара — предупредите её заранее

5.3. Расход горячей воды

Формула: $G = Q \text{ тепла} / (1,163 \times \Delta T)$.

Пример — Thermax LT 10 S: 352 кВт холода, горячая вода 81 м³/ч, перепад 5,6 К. Тепло $81 \times 5,6 \times 1,163 = 527 \text{ кВт}$, COP = $352 / 527 = 0,67$.

Для машины **1000 кВт холода** с COP 0,7 нужно около **1430 кВт** тепла:

Таблица 8 Расход горячей воды

Перепад греющей воды	Пример режима	Расход, м³/ч	Мощность насоса при напоре 20 м, кВт
5,6 К	90,6/85 (LT)	220	17,1
10 К	90/80 (5G)	123	9,6
11 К	90/79 (объект с ГПУ)	112	8,7
13 К	80/67 (объект с котельной)	95	7,4
15 К	95/80	82	6,4

Мощность насоса $N = \rho \cdot g \cdot G \cdot H / \eta$ при КПД 0,7. Перепад задаётся подбором машины: другой режим — другая мощность машины, её пересчитывает завод.

ЭКОНОМИКА

Перепад 5,6 К вместо 15 К — это 10,7 кВт лишней мощности насоса. За 4000 часов при тарифе 8 Р/кВт·ч — около 340 тыс. Р в год. Решение принимается при подборе машины, а трубы и насос, рассчитанные на 82 м³/ч, машине с номиналом 220 м³/ч не подойдут.

5.4. Газ, воздух на горение и дымоход

Расход газа: тепло топлива = холод / COP; газ = тепло / низшая теплота сгорания (по паспорту газа, ориентир — 9,3 кВт·ч/м³).

Пример: машина 1000 кВт холода, COP 1,4. Тепло $1000 / 1,4 = 714$ кВт; газ $714 / 9,3 = 77$ м³/ч. Эту цифру проектировщик кладёт в запрос технических условий, а не узнаёт из них.

Таблица 9 Газ, воздух на горение и дымоход

Холод, кВт	Тепло топлива, кВт	Газ, м ³ /ч	Воздух на горение, м ³ /ч	Дымовые газы при 190 °С, м ³ /ч	Диаметр дымохода при 4 м/с, мм
175	125	13	145	270	155
500	357	38	414	770	260
1000	714	77	829	1540	370
2000	1429	154	1657	3070	520
5450	3893	419	4516	8370	860

COP 1,4; воздух — 1,16 м³ на 1 кВт·ч топлива (около 20 % избытка); скорость в дымоходе 3,6–4,6 м/с. Патрубок газохода машины Thermax — 200–500 мм по моделям; сечение трубы за ним считает проектировщик. Ориентир для проверки.

Годовой расход для обоснования. Пример: дата-центр 5000 кВт, COP 1,35 — 398 м³/ч и около 2,44 млн м³ газа в год при 6130 часах полной нагрузки.

Высота дымовой трубы с поправкой на трассу (эмпирика Carrier): +180 мм высоты на каждые 300 мм горизонтального участка и +1,2 м на каждый отвод 90°.

Пример: горизонталь 6 м и два отвода 90°. Добавка: $6 / 0,3 \times 0,18 = 3,6$ м + $2 \times 1,2 = 2,4$ м, итого +6,0 м. Поэтому газоход ведут коротко, а отводы берут на 45° (коэффициент сопротивления 0,5 — рекомендация завода).

5.5. Выхлоп ГПУ

Тепло выхлопа: $Q = G \text{ выхлопа} \times c \times (t \text{ вход} - t \text{ выход})$, где $c \approx 1,1$ кДж/(кг·К).

Пример: расход выхлопа 10 000 кг/ч (берётся у поставщика ГПУ), охлаждение в машине 460 → 180 °С. $Q = 10\,000 / 3600 \times 1,1 \times 280 = 856$ кВт тепла. Холод — по COP машины из паспорта (одноступенчатые около 0,7, двухступенчатые 1,3–1,4; уточняет завод).

Противодавление — главный расчёт. Сопротивление самой машины по газу — 200–250 мм вод. ст. К нему прибавляют газоходы, отводы, перекидную заслонку и глушитель. Сумма не должна превышать допустимого противодавления двигателя по его паспорту — иначе двигатель теряет мощность.

Температура выхлопа зависит от нагрузки ГПУ: чем ниже нагрузка, тем выше температура. Подбор делают по реальному графику работы двигателя при 100, 75 и 50 %.

5.6. Холодная вода и насосы

Пример: 1000 кВт, 12 → 7 °С: $G = 1000 / (1,163 \times 5) = 172$ м³/ч.

Расход через испаритель постоянный. Реле протока Thermax отключает машину при падении расхода ниже 50 % номинала, реле перепада — ниже 50–60 %.

5.7. Электрическая нагрузка

Таблица 10 Электрическая нагрузка

Потребитель	Мощность
Сама АБХМ (насосы раствора и хладагента, автоматика)	5–10 кВт на 1 МВт холода
Горелка газовой машины	0,75–15 кВт по моделям; у моделей с двумя горелками — две строки
Насосы трёх контуров	по гидравлическому расчёту
Вентиляторы градирни	по подбору градирни

ВНИМАНИЕ

Горелка — отдельная строка в задании на электроснабжение. Забыли её в щите — узнаете на пусконаладке.

5.8. Нагрузка на перекрытие

Нагрузку считают по **аварийной массе** — с машиной, полностью залитой водой. Пример для АБХМ на 400 кВт: сухая 4,8 т, рабочая 5,8 т, аварийная **9,4 т**. Точные массы и посадку на фундамент Thermax выдаёт в чертежах через 2–4 недели после размещения заказа; на стадии П — по каталогу с оговоркой.

5.9. Сквозной пример: тригенерация, АБХМ 1000 кВт на горячей воде от ГПУ

Дано: холод 1000 кВт, $12 \rightarrow 7$ °С; горячая вода от рубашки ГПУ 90/79 °С; открытая градирня; Санкт-Петербург. Машина одноступенчатая на горячей воде, COP около 0,7.

Таблица 11 Сквозной пример: тригенерация, АБХМ 1000 кВт на горячей воде от ГПУ

Шаг	Расчёт	Результат
Тепло на генератор	$1000 / 0,7$	1430 кВт — столько должна отдать ГПУ
Расход горячей воды	$1430 / (1,163 \times 11)$	112 м³/ч
Холодная вода	$1000 / (1,163 \times 5)$	172 м³/ч
Сброс в градирню	$1000 + 1430$	2430 кВт
Охлаждающая вода	$2430 / (1,163 \times 7,4)$	282 м³/ч
Испарение в градирне	$2430 \text{ кВт} / 2430 \text{ кДж/кг}$	3,6 м³/ч + продувка
Насос охлаждающей воды, Н = 25 м	$1000 \times 9,81 \times 282 / 3600 \times 25 / 0,7 / 1000$	27 кВт
Насос холодной воды, Н = 30 м	то же для 172 м³/ч	20 кВт
Насос горячей воды, Н = 20 м	то же для 112 м³/ч	9 кВт
Сама машина	5–10 кВт/МВт	около 10 кВт
Итого электричество станции	без вентиляторов градирни	около 66 кВт
Для сравнения: чиллер COP 5	$1000 / 5$ + насосы	около 245 кВт

Вывод: станция на АБХМ берёт из сети в 3,5–4 раза меньше электричества, но требует вдвое большую градирню и 1430 кВт тепла, которое ГПУ иначе выбросила бы.

6. Обязка паровой машины

Рисунок 9 АБХМ на паре: пар и конденсат слева, холодная вода и градирня справа

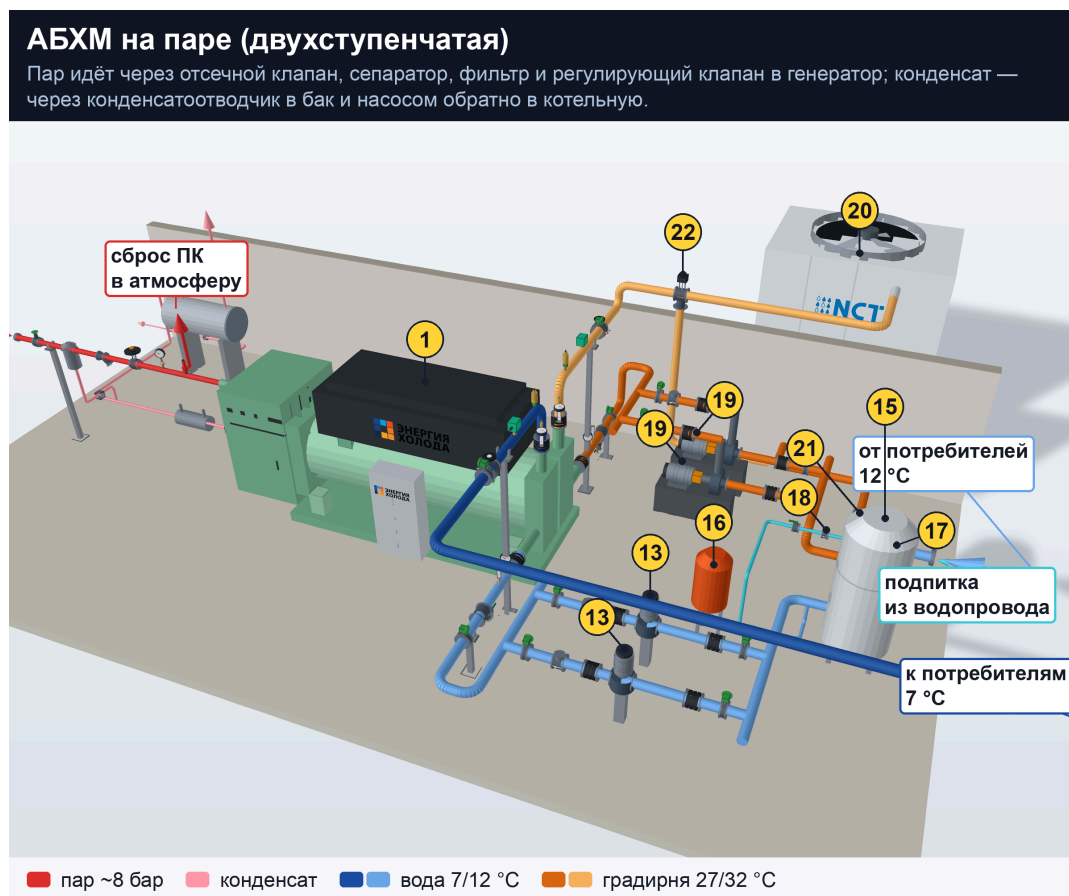


Таблица 12 Элементы обвязки паровой машины к рисунку 9

№	Элемент	Зачем
1	АБХМ двухступенчатая на паре	Пар греет генератор высокой температуры
3	Дисковый затвор	Отсекает машину и насосы для ремонта, парой на вход и выход
4	Сетчатый фильтр	Ловит окалину до трубок — только на входе
5	Гибкая вставка	Гасит вибрацию, не передаёт вес трубы на патрубок
6, 7	Термометр, манометр	На входе и выходе каждого контура: доказательство работы машины
11	Реле протока	Нет расхода — запрет пуска
13	Насос	Рабочий и резервный
15	Буферный бак	Машина не включается и не выключается часто
20	Открытая градирня NCT	Отвод тепла абсорбера и конденсатора
22	Трёхходовой клапан байпаса градирни	Не даёт переохладить раствор (раздел 9)
23	Отсечной клапан пара	Закрывает пар при ремонте, аварии, останове
24	Сепаратор пара	Отделяет капли, которые разбивают клапан и трубки
25	Регулирующий клапан с приводом	Дозирует пар по нагрузке, машина держит 7 °С

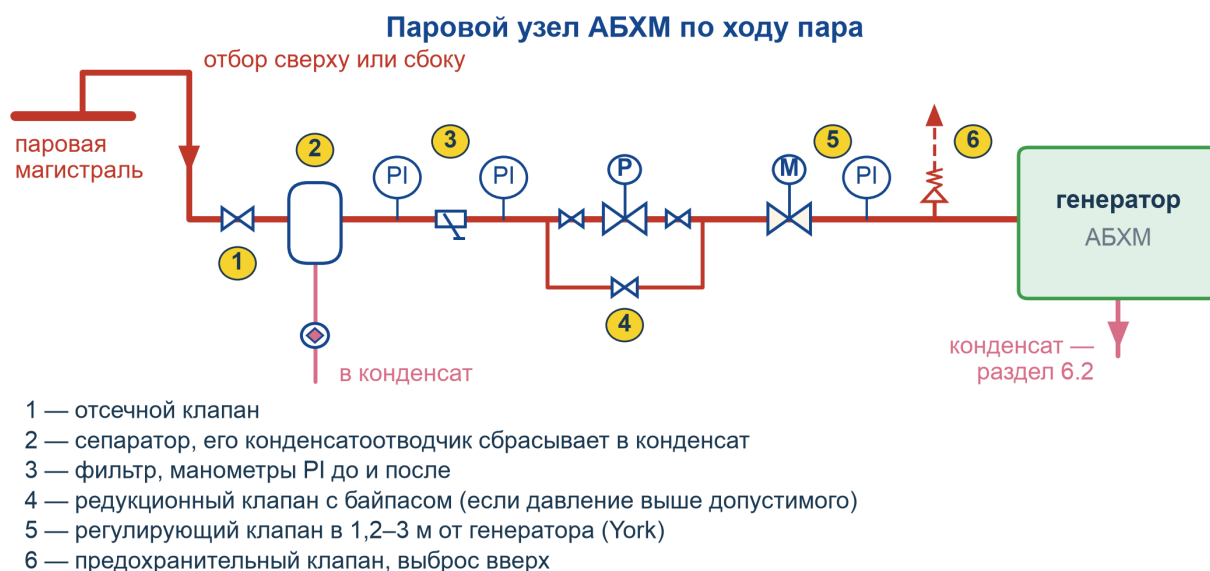
№	Элемент	Зачем
26	Предохранительный клапан	Сброс при превышении давления, выброс вверх
27	Конденсатоотводчик	Выпускает конденсат, держит пар
28	Охладитель конденсата	Меньше вскипает пара в баке
29	Конденсатный бак	Собирает конденсат, выпар — в атмосферу

6.1. Паровой узел по ходу пара

Порядок элементов не меняют: каждый защищает следующий.

Отбор сверху магистрали → отсечной клапан → сепаратор со своим конденсатоотводчиком → фильтр с манометрами до и после → (редукционный клапан с байпасом, если давление выше допустимого) → регулирующий клапан → манометр → предохранительный клапан → генератор.

Рисунок 10 Паровой узел по ходу пара



Порядок не меняют

Отсечка → сепаратор → фильтр → (редукция) → регулирование → защита → генератор. Пар сухой насыщенный 99 %, перегрев не больше 10 °C (Thermax) — иначе парохладитель. Редукция и предохранительный клапан при давлении выше 10,5 кгс/см² изб. для серии 2В; клапан подбирают по расходу, а не по диаметру трубы.

Порядок элементов на паре не меняют: каждый защищает следующий

Требования к пару:

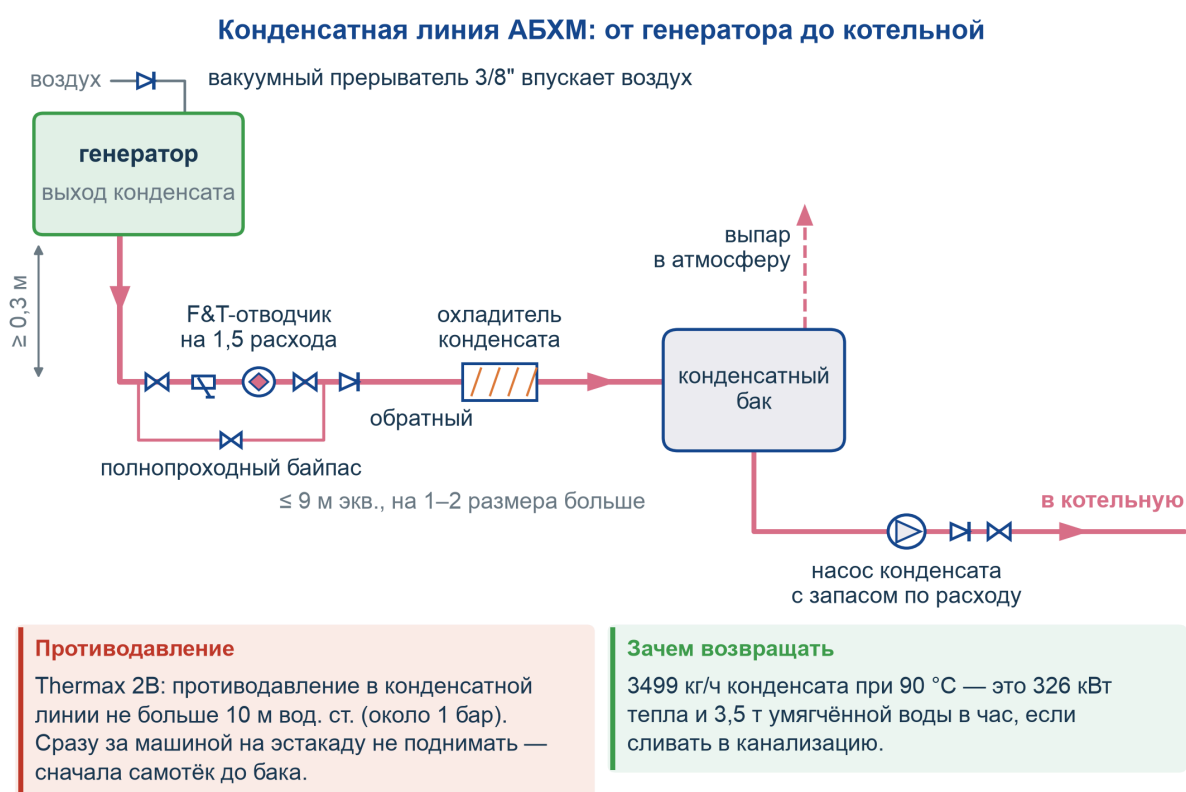
- сухой насыщенный, сухость **0,99**;
- перегрев не больше **10 °C** (в экспортной инструкции 2В — 15 °C; при сомнении берите 10). Больше — парохладитель (DSH) с автоматическим регулированием;
- давление на входе клапана постоянное, на проектном уровне. Серия 2В: номинал 8 кгс/см² изб., рабочий диапазон 1,4–9,9 бар, максимум в паровой системе машины **10,5 кгс/см²**. Выше — редукционная станция и предохранительный клапан;

- отбор пара от магистрали только сверху или сбоку, чтобы не захватить конденсат со дна трубы;
- скорость пара до 30 м/с, уклоны против гидроударов, опоры независимо от машины с учётом теплового расширения.

Регулирующий клапан у стандартных машин Thermax — с пневмоприводом, ему нужен чистый сухой сжатый воздух **5,0 кгс/см² изб.** Электропривод — опция, но клапан обязан быть модулирующим. Тип привода фиксируйте в спецификации словами: от него зависят воздух КИП и щит.

6.2. Конденсатная линия

Рисунок 11 Конденсат течёт вниз самотёком до отводчика и только потом его поднимают



Конденсат течёт вниз самотёком до отводчика и только потом его куда-то поднимают

- **Конденсатоотводчик** — поплавковый или термодинамический, подбор на **1,5 номинального расхода пара** при рабочем перепаде (не по диаметру патрубка).
- Отводчик **не меньше чем на 0,3 м ниже** выхода конденсата из генератора; запорная арматура и полнопроходный байпас для замены без останова.
- **Вакуумный прерыватель**: на частичной нагрузке давление в генераторе может упасть ниже атмосферного, и конденсат перестанет уходить.
- **Противодавление** в конденсатной линии — не больше **10 м вод. ст.** (около 1 бар). Конденсатопровод, поднятый на эстакаду на 12 м сразу за машиной, — уже нарушение. Самотёком до бака у машины, дальше насосом с обратным клапаном.
- Линия от отводчика до бака — пароконденсатная смесь: как можно короче, до 9 м эквивалентной длины, на один-два типоразмера больше.

- **Насос конденсата** — с запасом: в нашем проекте на 3,6 м³/ч конденсата стоит насос 8,5 м³/ч, он работает по уровню бака.

ЭКОНОМИКА

Конденсат в канализацию — это котельная, которая греет воду для слива. 3499 кг/ч конденсата при 90 °С против подпитки 10 °С — **326 кВт** тепла и 3,5 т подготовленной воды в час.

ВАЖНО

Паропровод с паром выше 0,07 МПа — оборудование под избыточным давлением по ФНП ОРПД (приказ Ростехнадзора № 536). Предохранительный клапан ставят с расчётом пропускной способности, испытания и учёт — по правилам Ростехнадзора (раздел 13).

7. Обвязка машины на горячей воде

Рисунок 12 АБХМ на горячей воде: греющий контур слева, три контура машины и градирня справа

АБХМ на горячей воде (одноступенчатая)

Горячая вода 95 °С греет генератор и уходит 80 °С; трёхходовой клапан с байпасом держит нужную температуру, а байпас градирни не даёт раствору закристаллизоваться.

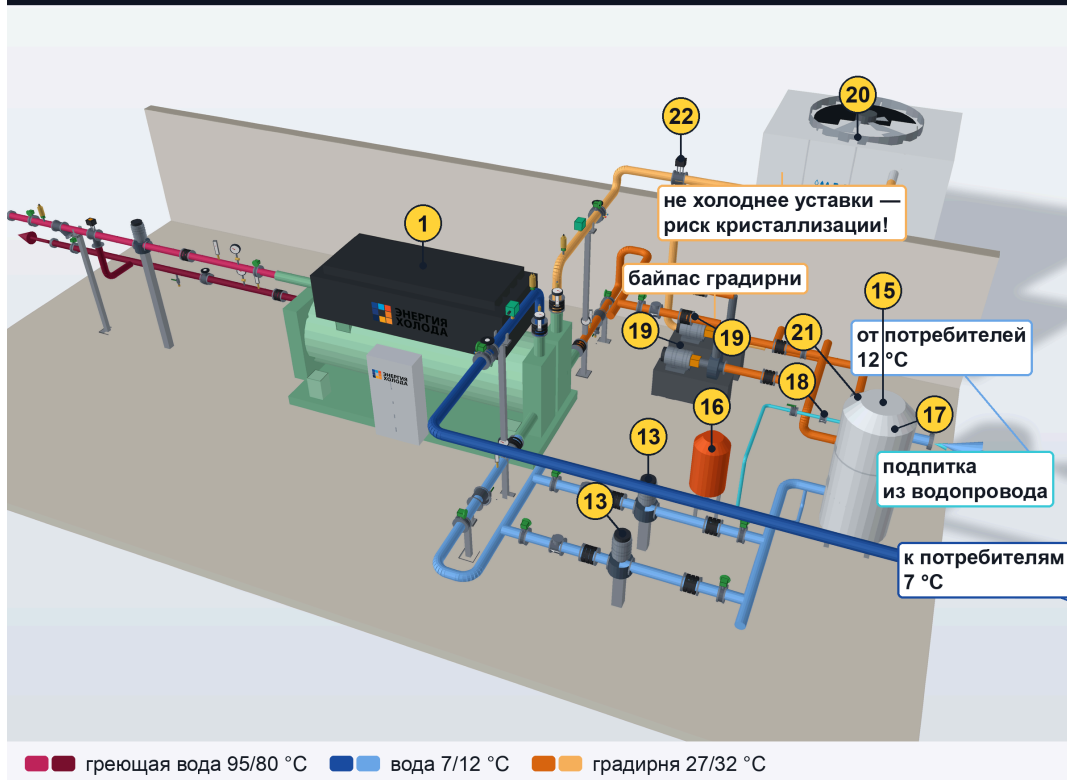


Рисунок 13 Греющий контур крупно: трёхходовой клапан стоит на подаче, до насоса машины



Требования Thermax к греющему контуру:

- трёхходовой регулирующий клапан — обязательный элемент, модулирующий, на входе горячей воды, регулирует по температуре холодной воды на выходе машины;
- два ручных отсечных клапана для обслуживания клапана, манометр перед ним;
- насос — на входе в машину; давление в контуре никогда не выше допустимого по шильдику (у серии LT — не выше 5 кгс/см² изб.);
- гильзы термометров и манометры на входе и выходе;
- резкие колебания расхода и температуры не допускаются — они сразу бьют по мощности.

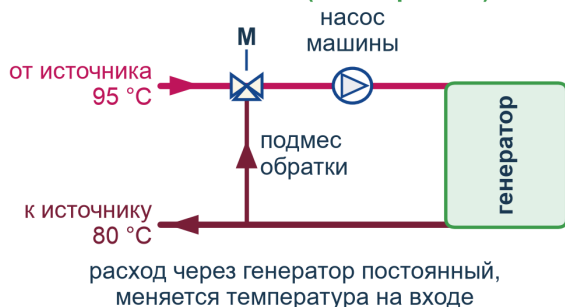
Две правильные схемы:

- **смесительная** — у машины свой насос, клапан подмешивает обратку в подачу, расход через генератор постоянный, меняется температура. Подходит котельной;
- **разделительная** — насос на стороне источника, лишняя вода уходит мимо машины в обратку, меняется расход через генератор. Обычно устраивает ГПУ, которой нужен постоянный расход через рубашку.

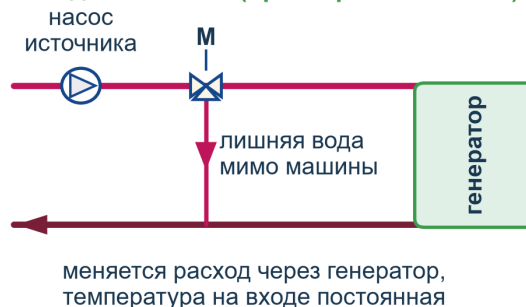
Клапан на **выходе** генератора — неправильная схема: производитель прямо требует клапан на входе, и гарантийный разговор после такой «доработки» начинается с этой строки.

Горячая вода к генератору: две правильные схемы и одна самодеятельность

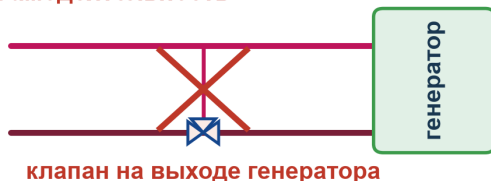
Смесительная (как на рис. 13)



Разделительная (брошюра Thermax LT)



Самодеятельность



Требование Thermax

ZE20: трёхходовой клапан обязателен, стоит на ВХОДЕ горячей воды, модулирующий, два отсечных клапана для обслуживания, насос на входе в машину, манометр перед клапаном.

Вывод

Выбор схемы — по источнику: ГПУ обычно нужен постоянный расход через рубашку, ей подходит разделительная; котельной со своим насосом — любая.

Клапан на входе в генератор — обе схемы рабочие; клапан на выходе — самодеятельность

ВНИМАНИЕ

Трёхходовой клапан поставляется, только если он записан в объём поставки. Проверьте спецификацию до отгрузки: это частая дыра в договоре.

Обратный клапан на обратке. После останова вода в генераторе остывает и сжимается, в запертом объёме возможен вакуум. Решение — обратный клапан на обратке горячей воды с байпасом 3/4" между выходом генератора и клапаном.

Вода выше 110 °C — это уже перегретая вода под давлением, другая машина и другие требования; выше 115 °C трубопровод попадает под ФНП ОРПД.

8. Газовая машина и машина на выхлопе

8.1. Машина прямого горения

Рисунок 15 АБХМ прямого горения: газ от ГРП через рампу в горелку, дым в трубу, воздух на горение через жалюзи



Серии Thermax 2V и GD — двухступенчатые, COP 1,40–1,45, мощность 2V — 175–5450 кВт. Топливо — природный газ, СУГ, дизель, биогаз, бывает двухтопливная горелка. Горелки Weishaupt или Oilon, стандартная газовая рампа — в комплекте с горелкой. Летом машина даёт холод, зимой может работать нагревателем на отопление.

Граница поставки: газоснабжение до рампы, редуцирование, монтаж горелки по месту, дымоход и всё, что требует газовая служба, — сторона заказчика и проекта газоснабжения.

Газовая рампа по ходу газа: шаровой кран → фильтр газа → манометр → регулятор давления → реле низкого и высокого давления → двойной электромагнитный клапан → реле контроля герметичности → дроссельная заслонка → горелка.

Газовая рампа горелки по ходу газа



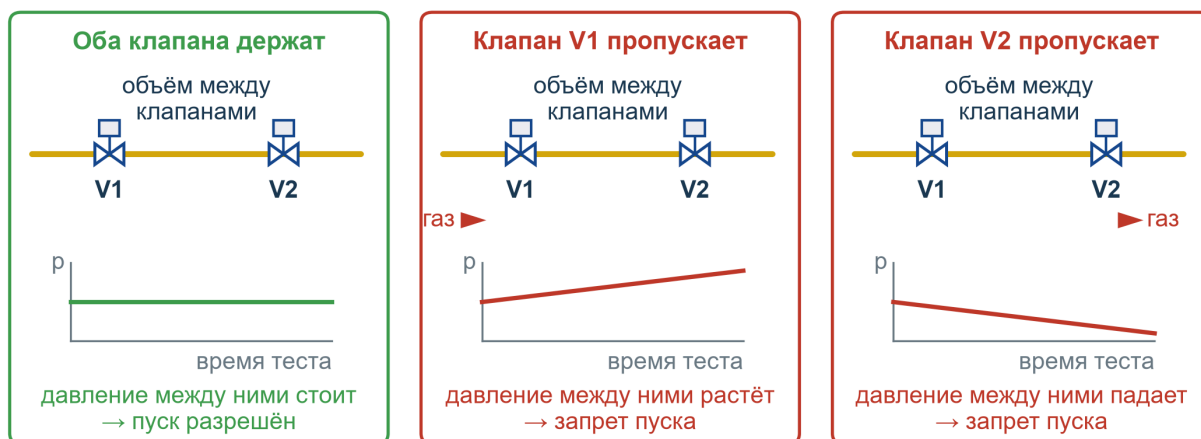
Как читать

Жёлтые номера — элементы на рис. 15. Состав — по каталогу Carrier 16DN для рампы Weishaupt; у горелки конкретной машины он может отличаться, у многоступенчатых горелок добавляются ступенчатые и предохранительный соленоиды. Фильтр защищает седла клапанов: грязь на седле — и тест герметичности бракует клапан. Состав до рампы (ГРП, узел учёта, отсечка на вводе) — по проекту газоснабжения.

Каждый элемент рампы защищает следующий: грязь убивает клапаны, давление убивает регулятор

Рисунок 17 Контроль герметичности двойного клапана: реле ловит протечку любого из двух клапанов до розжига

Контроль герметичности двойного электромагнитного клапана



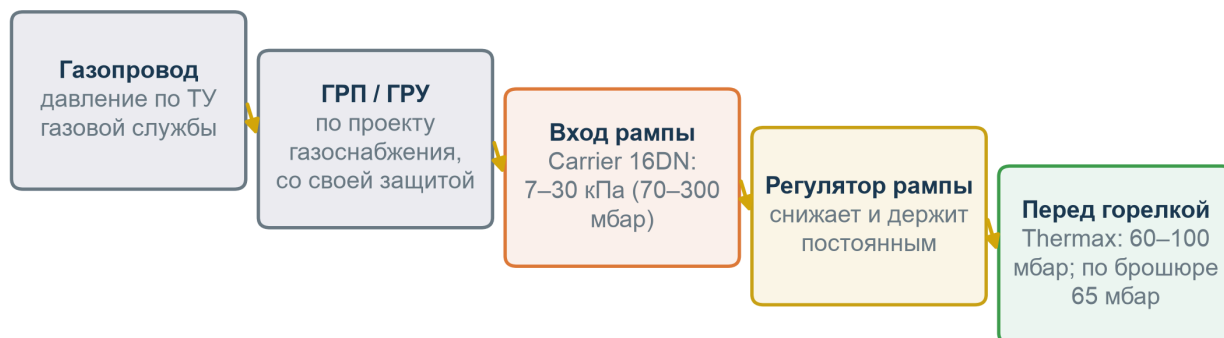
Правило

Точная последовательность и время теста — в паспорте блока клапанов и горелки. Тест не проходит — не шунтировать и не «повторять до победы»: чистить седла и фильтр газа, проверять давление, вызывать наладчика горелки.

Реле между клапанами ловит протечку любого из двух, пока горелка ещё не зажглась

Давление газа. Горелка машины Thermax принимает **60–100 мбар** на входе (в брошюре Trane-Thermax — 65 мбар). Выше 100 мбар — редукционная станция на подводе. Рабочий диапазон берут из паспорта горелки конкретной машины.

Давление газа от сети до горелки: ступени и цифры



Правило

Thermax 2V: при давлении выше 100 мбар на подаче — редукционная станция. Завод: «избыток давления снимают рампой до 100 мбар». Рабочая цифра — только паспорт горелки конкретной машины.

Перевод единиц

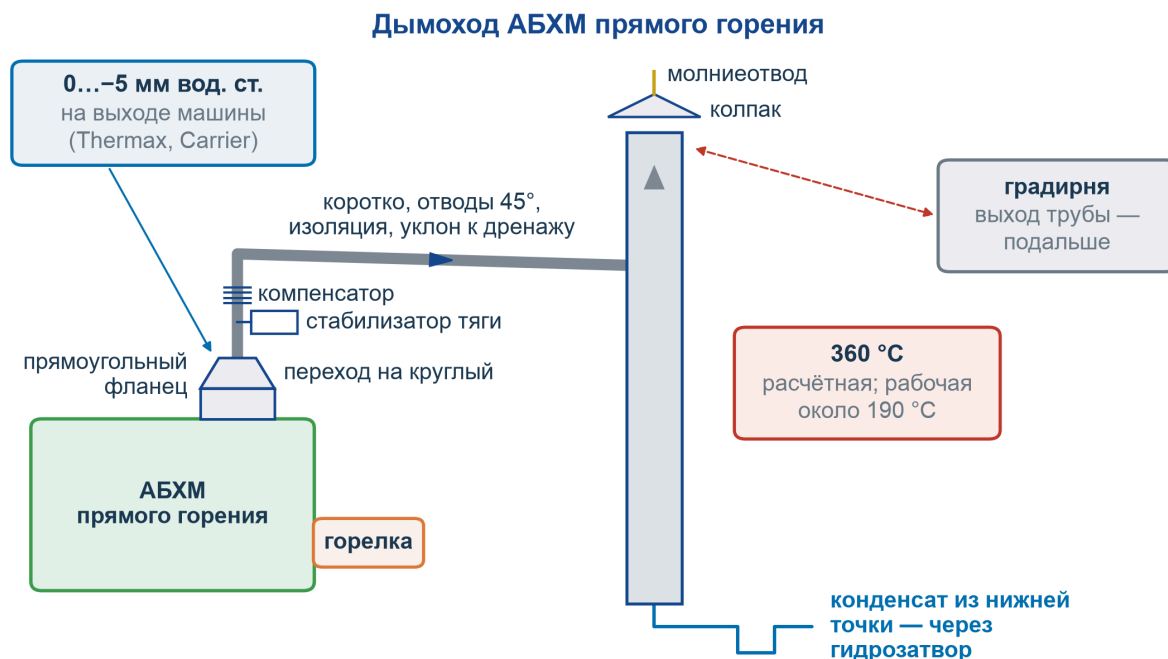
1 кПа = 10 мбар; 100 мбар = 10 кПа ≈ 1020 мм вод. ст.; 1 мбар ≈ 10,2 мм вод. ст. Манометр рампы в кПа, паспорт в мбар — пересчитайте до пуска.

Давление снижают по ступеням: сначала газовая служба, потом рампа

8.2. Дымоход

- Давление дымовых газов на выходном патрубке машины — **0–5 мм вод. ст.**, лучше лёгкое разрежение. Горелка не рассчитана «продавливать» длинный газоход.
- Газоходы круглые, двустенные, изолированные; переход с прямоугольного фланца машины на круглый; стабилизатор тяги или моторизованная заслонка; компенсаторы температурных напряжений.
- Расчётная температура дымохода — **не ниже 360 °C** при типичных уходящих 190 °C (Carrier).
- Скорость газов — 3,6–4,6 м/с.
- **Конденсат из топки — только через гидрозатвор**, иначе кислота из дымовых газов разъедает генератор.
- Колпак, молниеотвод, защита от дождя и снега. Выход трубы — подальше от градирни и воздухозаборов.

Рисунок 19 Дымоход держит лёгкое разрежение на выходе машины, конденсат уходит через гидрозатвор

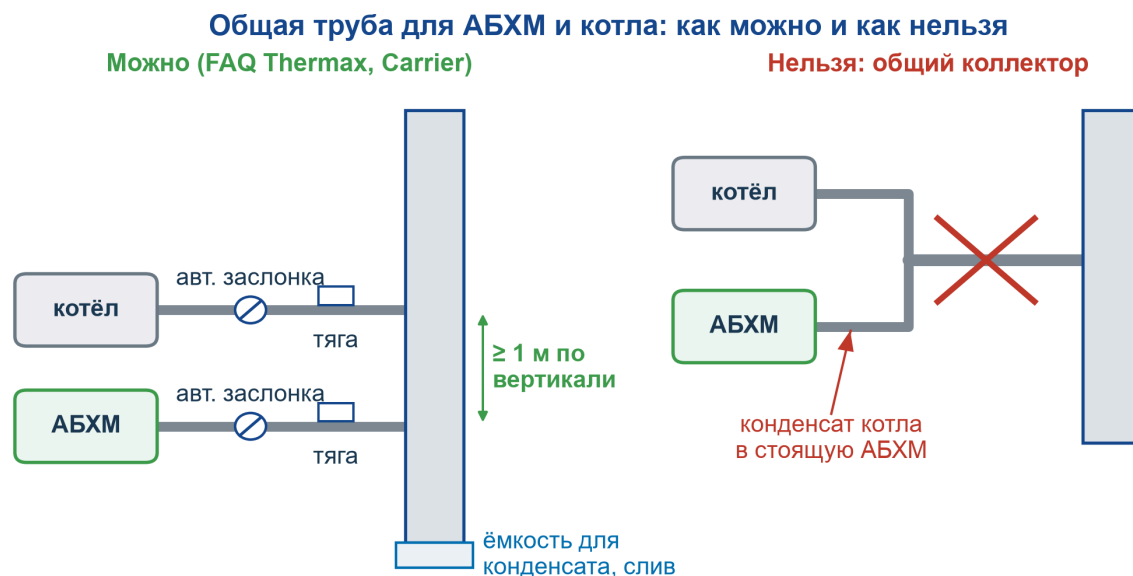


Эмпирика Carrier 16DN

Высота: +180 мм на каждые 300 мм горизонтали и +1,2 м на отвод 90°. Скорость газов не больше 3,6–4,6 м/с. Круглые двустенные газоходы: плоские стенки дают пульсации.

Дымоход держит лёгкое разрежение на выходе машины, а конденсат уходит только через гидрозатвор

Общий дымоход с котлом или второй машиной завод в общем случае не рекомендует. Если без этого никак: у каждой машины своя автоматическая запорная заслонка и регулятор тяги, врезки в трубу — не ближе **1 м по вертикали** друг от друга, ёмкость для конденсата внизу. Общий горизонтальный коллектор нельзя: пока АБХМ стоит, конденсат котла попадёт в её газоход.



Почему

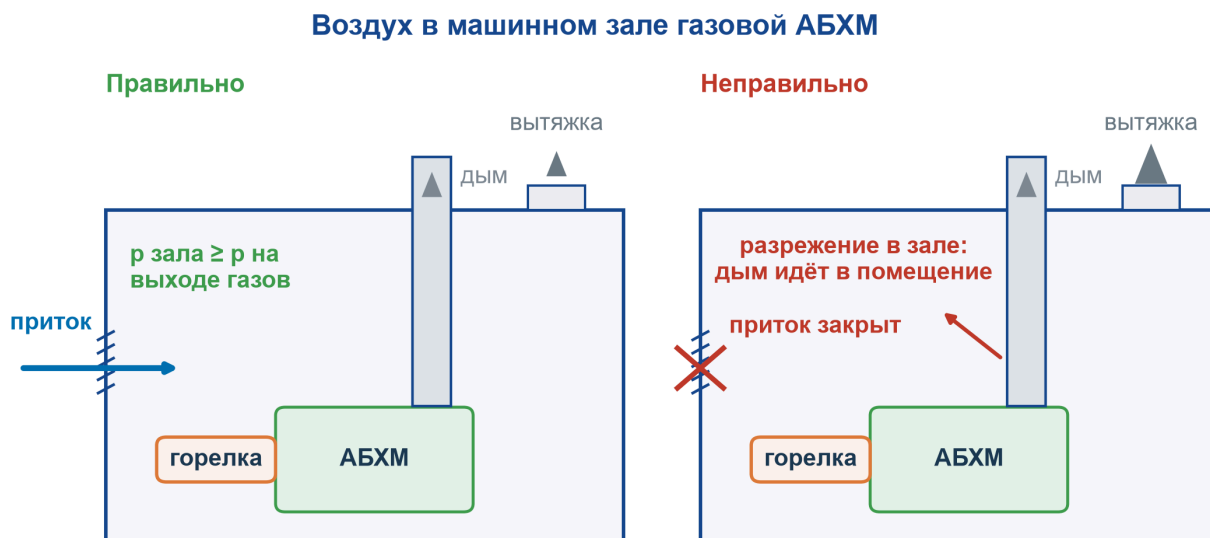
Пока АБХМ стоит, конденсат дымовых газов котла затекает в её газоход: коррозия. Завод в общем случае вообще не рекомендует общую трубу.

Два газохода — две заслонки и метр по вертикали; общий коллектор льёт конденсат котла в АБХМ

8.3. Воздух на горение и помещение

На 1 кВт·ч топлива нужно около **1,16 м³ воздуха**; для машины 1000 кВт — 829 м³/ч только на горение. Давление в машинном зале **никогда не должно опускаться ниже давления на выходе дымовых газов**: мощная вытяжка без притока тянет дым в помещение. Приток закладывают так, чтобы эксплуатация не могла закрыть его в мороз «чтобы не дуло».

Рисунок 21 Воздуха в зал входит не меньше, чем уходит через горелку и вытяжку



Считаем

Воздух на горение — около $1,16 \text{ м}^3$ на $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ топлива (Carrier): для машины 1000 кВт холода это около $830 \text{ м}^3/\text{ч}$ только горелке. Плюс общеобменная вытяжка. Жалюзи притока не закрывать на зиму «чтобы не дуло».

Воздуха в зал входит не меньше, чем уходит через горелку и вытяжку вместе

Требования к помещению с газоиспользующим оборудованием — категория, вентиляция, легко-сбрасываемые конструкции, контроль загазованности — задаёт проект газоснабжения по СП 62.13330 и правилам Ростехнадзора.

8.4. Режим нагрева зимой

Рисунок 22 Режимы меняют затворами по таблице, а не по памяти оператора

Режимы газовой АБХМ: лето — холод, зима — нагрев

Контур	Лето: холод	Зима: нагрев
Холодная вода $7/12 \text{ }^{\circ}\text{C}$	работает	по потребности
Охлаждающая вода (градирня)	работает, байпас по уставке	отсечь и слить (Carrier)
Горячая вода отопления $60/55 \text{ }^{\circ}\text{C}$	затворы закрыты	работает
Горелка и газ	работают	работают
Изоляция трубы охлаждающей воды	—	термостойкая до $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Правило

Положение каждого затвора в каждом режиме — табличкой у машины и строкой в инструкции оператора. Открытая охлаждающая вода через стоящий абсорбер — одна из причин частичной кристаллизации. Конкретная схема переключения — по инструкции модели.

Режим меняют затворами по таблице, а не по памяти оператора

- контур отопления — к своим патрубкам, со своими затворами, фильтром, воздушником и приборами;
- в режиме нагрева контур охлаждающей воды отсекают и сливают; изоляция трубы охлаждающей воды у абсорбера — термостойкая, до 80 °С;
- положение каждого затвора в каждом режиме — табличкой у машины и в инструкции оператора. Открытая охлаждающая вода через стоящий абсорбер — одна из причин частичной кристаллизации.

8.5. Машина на выхлопных газах ГПУ или ГТУ

- **Трёхходовая перекидная заслонка** (diverter damper) направляет выхлоп в машину или мимо неё. Её питание заводят от двигателя так, чтобы при остановке машины или пропадании питания заслонка ушла в байпас.
- **Противодавление** всего тракта не выше допустимого для двигателя (раздел 5.5).
- Если зимой выхлоп идёт на отопление — тип и управление байпасного клапана обязательно в задании на проектирование.
- Проект газоходов делают совместно с заводом Thermax и поставщиком ГПУ.

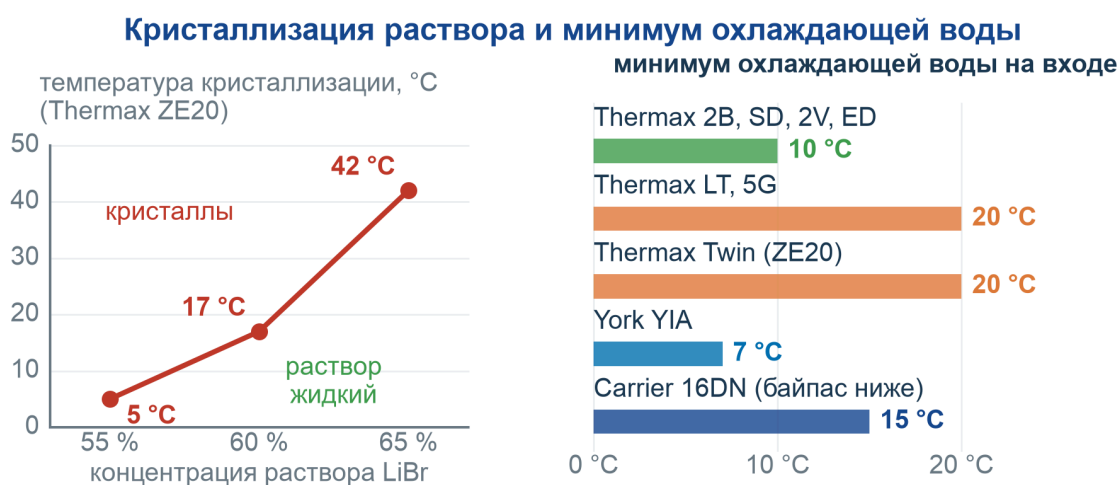
9. Контур охлаждающей воды

Это самый недооценённый контур АБХМ. Две из пяти типовых причин отказов АБХМ — здесь: кристаллизация из-за холодной воды в межсезонье и недостаточная градирня.

9.1. Минимальная температура охлаждающей воды

Холодная вода с градирни переохлаждает концентрированный раствор в теплообменнике, и соль выпадает кристаллами. Температура кристаллизации раствора: 65 % — 42 °С, 60 % — 17 °С, 55 % — 5 °С.

Рисунок 23 Минимум охлаждающей воды — паспортная цифра модели, а не общее правило для АБХМ



Вывод

Минимум — паспортная цифра модели. Практики называют 22 °С порогом риска. «0 °С» в русском каталоге 2V — опечатка. Байпас градирни ставят всё равно: в межсезонье вода бывает 5 °С.

Минимум охлаждающей воды — паспортная цифра модели, а не общее правило для АБХМ

Таблица 13 Минимальная температура охлаждающей воды

Модель	Минимум охлаждающей воды на входе
Thermax 2B и SD (пар, двухступенчатые)	10 °C
Thermax 2V (газ), машины на выхлопе	10 °C
Thermax LT (горячая вода)	20 °C
Thermax 5G (горячая вода)	20 °C

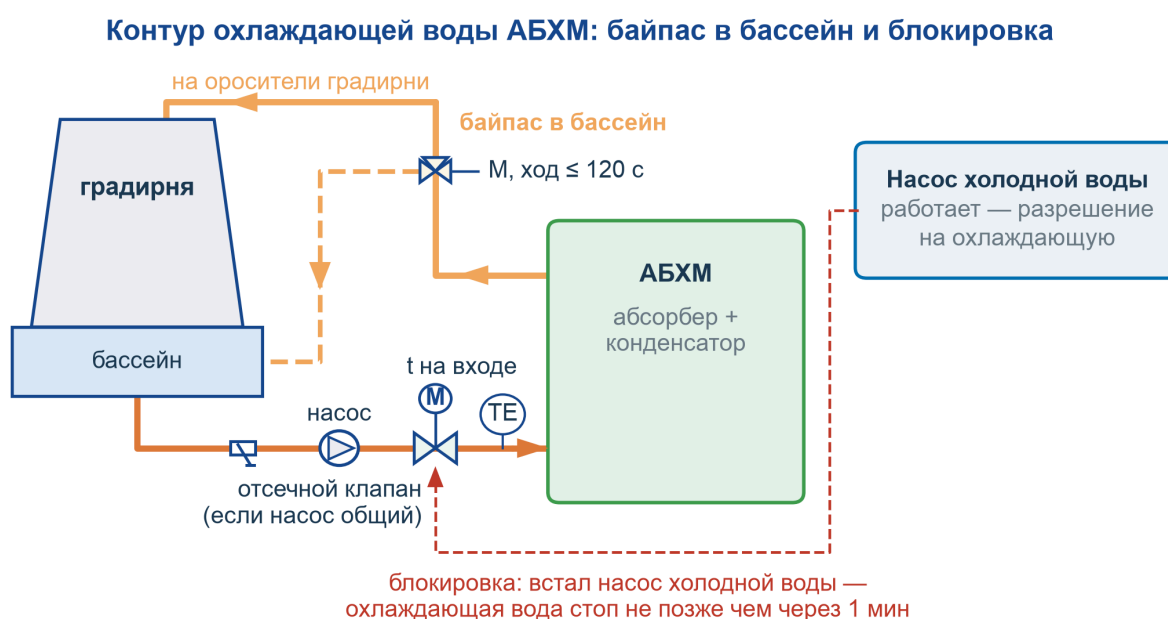
Для проекта: двухступенчатые машины Thermax — от 10 °С, одноступенчатые на горячей воде — от 20 °С, конкретная модель — по листу технических данных. Оптимум — 27 ± 1 °С, рабочий диапазон 22–32 °С.

9.2. Байпас градирни — обязательный элемент

- Трёхходовой клапан на линии охлаждающей воды, сброс байпаса — **в бассейн градирни**, а не в трубу к насосам.
- Время хода клапана между крайними положениями — **не больше 120 с**.
- Регулирование каскадом: байпасный клапан плюс вентиляторы градирни (лучше с частотным регулированием).
- При пуске вентилятор градирни выключен, градирня в байпасе, пока вода на входе машины не поднимется до **20 °С**. Уставка отключения вентилятора — **25 °С**, гистерезис 3 °С.

Байпас нужен даже у двухступенчатой машины с минимумом 10 °С: весенней ночью вода с градирни бывает и 5 °С.

Рисунок 24 Байпас сбрасывает в бассейн, а блокировка перекрывает охлаждающую воду, если встала холодная



Уставки Thermax (ZE20, FAQ)

Пуск: байпас, вентилятор выключен до 20 °С на входе. Вентилятор выключается при 25 °С, гистерезис 3 °С. Оптимум 27±1 °С, каскад: клапан + вентилятор.

Байпас сбрасывает в бассейн, а блокировка перекрывает охлаждающую воду, если встала холодная

9.3. Блокировка «нет холодной воды — нет охлаждающей»

Если проток холодной воды остановился, охлаждающая вода должна остановиться **в течение минуты** — иначе вода в испарителе может замёрзнуть. Если насос охлаждающей воды общий на несколько машин — на входе охлаждающей воды каждой машины ставят автоматический отсечной клапан, им управляет контроллер машины.

9.4. Градирня: открытая или закрытая

Открытая градирня дешевле и компактнее. Закрытая держит воду абсорбера чистой — для АБХМ это прямая выгода: накипь в трубках абсорбера снижает мощность. Отложения 1 мм снижают хо-

лодильную мощность примерно на 14 %. Закрытая градирня даёт воду на 2–3 °С теплее открытой, это учитывают при подборе.

Чек-лист раздела 9: контур охлаждающей воды

- ☐ Градирня и насосы посчитаны на сброс АБХМ: 1,72 кВт (двухступенчатая) или 2,45 кВт (одноступенчатая) на 1 кВт холода.
- ☐ Минимум охлаждающей воды взят из листа данных модели: 10 °С или 20 °С.
- ☐ Байпас градирни сбрасывает в бассейн, ход клапана не больше 120 с.
- ☐ Каскад регулирования: байпас плюс вентиляторы, уставки 20 °С и 25 °С.
- ☐ Блокировка: нет протока холодной воды — охлаждающая останавливается в течение минуты.
- ☐ При общем насосе на несколько машин у каждой свой автоматический отсечной клапан.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — контур охлаждающей воды в проект не выпускать.

10. Компоновка машинного зала

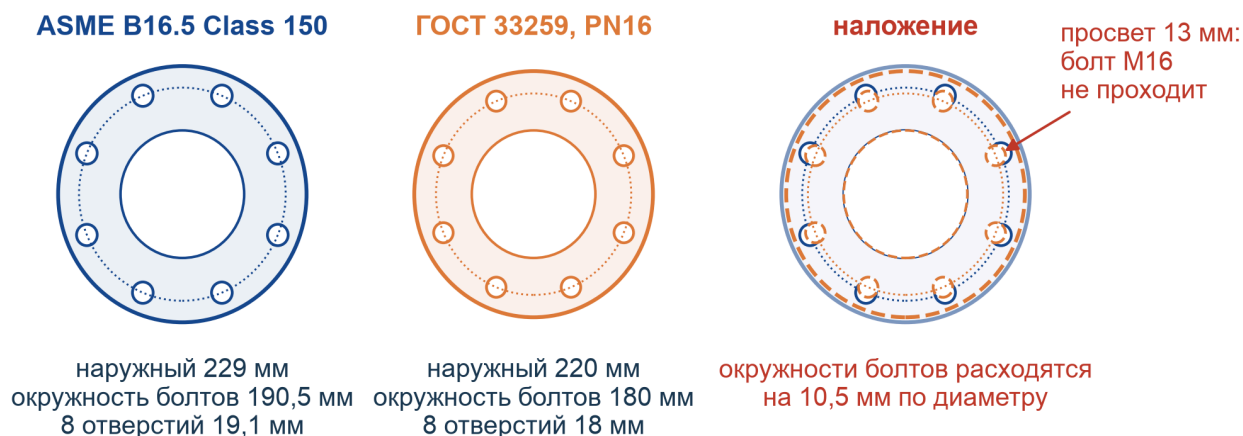
Таблица 14 Компоновка машинного зала

Требование	Цифра	Источник
Горизонтальность машины	не хуже 1 мм на 1000 мм вдоль и поперёк, выравнивание и подливка опор до подключения труб	Thermax ZE20
Зона выемки трубок	длина пучка с одного торца; у серии 2B — 2500–9600 мм по модели	лист технических данных
Сторона щита управления	1200 мм (серия 2B)	Thermax
Сервисная зона вокруг машины	около 1 м, 150 мм сверху	Carrier 16DN, ориентир
Температура в помещении	не ниже 0 °C (хладагент — вода); рабочий диапазон среды 5–45 °C	Thermax
Полы, стены, потолки у машины	негорючие материалы	Thermax
Фундамент	дренажная канавка вокруг (серия 2V), нагрузка по аварийной массе	Thermax, раздел 5.8
Максимальное рабочее давление водяных камер	8,0 кгс/см ² изб., по спецзаказу до 10; контур горячей воды LT — 5 кгс/см ²	Thermax
Минимальное давление на выходе контура	не меньше 0,5 бар положительного, чтобы не подсасывало воздух	ответ завода

Давление в нижней точке. Статика высокого здания плюс напор насоса легко превышают 8 кгс/см². Считайте давление у патрубков машины, а не на манометре насоса; при превышении — машину ниже, насос на подачу или разделительный теплообменник.

Фланцы. Фланцы машины Thermax — по **ASME B16.5 Class 150**, с ГОСТ и DIN не совместимы: окружность болтов у DN100 — 190,5 мм против 180 мм у ГОСТ PN16. Ответные фланцы обычно не поставляются — закладывайте переходные или ответные фланцы под ASME в спецификацию проекта.

Фланцы DN100: ASME B16.5 Class 150 против ГОСТ PN16



Вывод

Завод Thermax: фланцы машины по ASME B16.5 Class 150, с DIN и ГОСТ не совместимы; ответные в поставке бывают не всегда. Закладывать ответные фланцы ASME или переходные катушки в проект и в закупку монтажа. Размеры — для DN100, по другим проходам сверять по таблицам стандартов.

Фланцы «одного диаметра» не собираются: болты не попадают в отверстия

Трубы и опоры. Все трубы на своих опорах, никакой нагрузки на патрубки. Гибкие вставки на холодной, охлаждающей и горячей воде. Воздушники в верхних точках, дренажи в нижних, сетчатые фильтры во всех водяных контурах, промывка линий до подключения к машине.

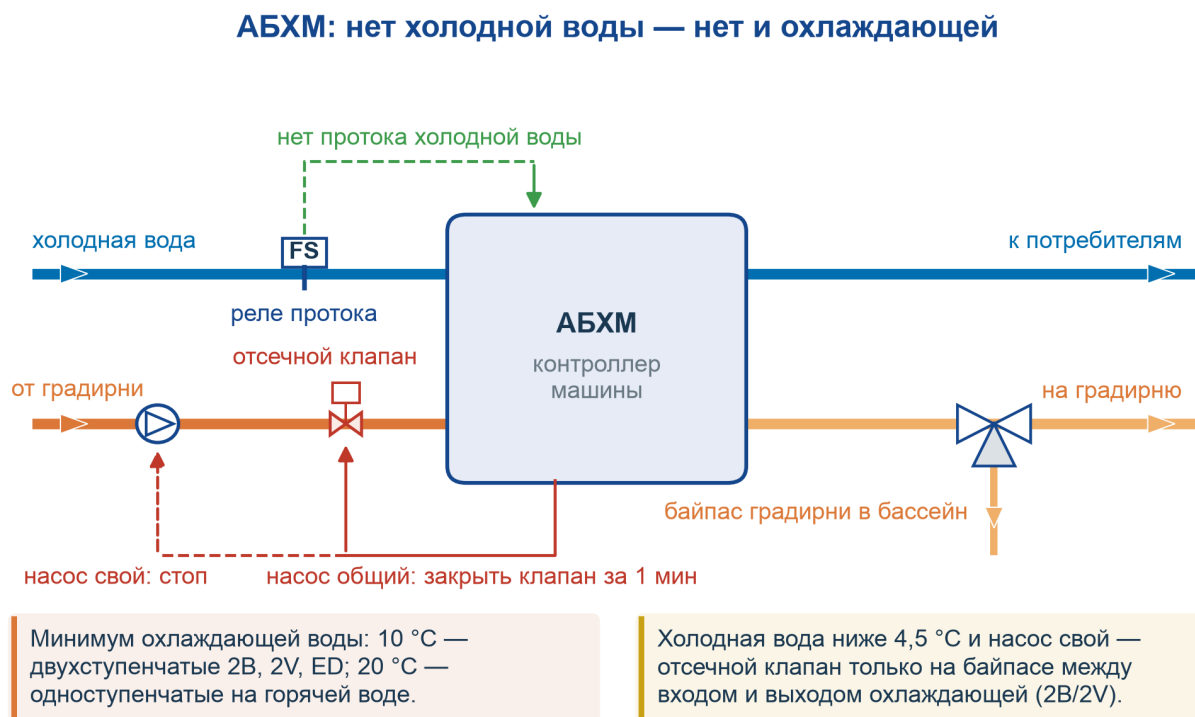
Монтажные проёмы. Машина приходит собранной, испытанной на герметичность и заправленной азотом. Проём и маршрут затаскивания закладывают по габариту машины в сборе. Пример: на торгово-развлекательном комплексе «Триумф Плаза» (Обнинск) машину 1255 кВт поднимали на 12-й этаж краном с вылетом стрелы 60 м и собирали на месте — это решение проекта, а не монтажа.

Сроки. Точные чертежи машины, включая посадку на фундамент и электрические схемы, Thermax выдаёт через 2–4 недели после размещения заказа. Стадию П делают по каталогу с оговоркой, рабочую документацию — по чертежам завода. Обязку по «примерному» чертежу не варят.

11. Автоматика, блокировки, пуск и останов

АБХМ сама градирней и байпасом не управляет. У машины — сигналы на пуск и останов насосов трёх контуров и разрешение на работу градирни. Логика байпаса, вентиляторов и насосов делает автоматика станции — это надо заложить в раздел АХС.

Рисунок 26 Блокировки АБХМ: нет холодной воды — нет охлаждающей



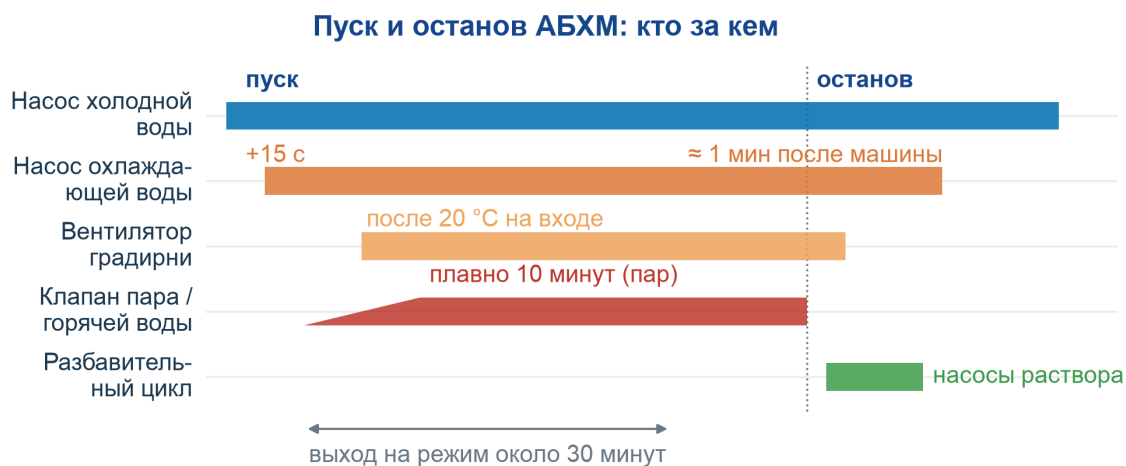
Thermax ZE20, гл. 7: нет холодной воды — охлаждающая через машину встаёт в течение минуты

Последовательность пуска:

1. Насос холодной воды — всегда первым; реле протока и дифференциальное реле давления подтверждают проток.
2. Примерно через 15 с — насос охлаждающей воды или открытие отсечного клапана.
3. Градирня в байпасе, вентилятор выключен до 20 °С на входе в машину.
4. Греющая среда — плавно: паровой клапан открывается постепенно первые 10 минут, клапан горячей воды — по рампе против термоудара.
5. Выход на режим — около 30 минут.

Останов: теплоисточник закрывается, машина уходит в **разбавительный цикл**; охлаждающая вода останавливается примерно через минуту после машины; насос холодной воды — последним.

Рисунок 27 Насос холодной воды включается первым и выключается последним



Правило

Насос холодной воды включается первым и выключается последним; охлаждающая вода останавливается примерно через минуту после машины. Насос охлаждающей воды без работающего насоса холодной не включают. Провал питания до 3 минут — разбавление можно пропустить, дольше — обязательно. Шкала времени условная.

Насос холодной воды включается первым и выключается последним

Пропадание питания. Провал до 3 минут машина переживает без разбавления, дольше — разбавительный цикл обязателен. Без резервного питания машина с большой вероятностью кристаллизуется. На паре клапан должен закрываться при сбое питания; для штатной остановки есть опция ИБП. Система распределения раствора Thermax сливает раствор самотёком — это снижает риск по сравнению с машинами с форсунками.

КИП, который закладывают в проект: термометры и манометры на входе и выходе каждого из трёх контуров (без них нельзя ни проверить машину, ни предъявить претензию по мощности), реле протока с прямыми участками не меньше 5 Ду, датчик температуры охлаждающей воды на входе машины для байпаса, сухие контакты на насосы и градирню, интерфейс в диспетчеризацию.

12. Качество воды

Таблица Thermax одна на три контура и зависит от материала трубок. Для медных трубок:

Таблица 15 Качество воды

Показатель	Допустимо
рН при 25 °С	7,0–8,5
Общее солесодержание	< 1500 ppm
Взвешенные вещества	< 10 ppm
Хлориды	< 400 ppm
Сульфаты	< 500 ppm
Общая жёсткость	< 300 ppm
Железо	< 0,1 ppm
Свободный хлор	< 0,1 ppm
Масло	< 1 ppm

Для CuNi, нержавеющей стали и титана пороги выше; рабочие значения — по спецификации модели.

Что заложить в проект: водоподготовку подпитки градирни по анализу воды (умягчение, дозирование, обратный осмос — по результату анализа, а не по шаблону), автоматическую продувку по проводимости, точки отбора проб на трёх контурах. Карбонатная вода даёт накипь, кислород в контуре горячей воды разрушает трубки генератора.

Промывки сети химией в контуре горячей воды согласовывают с владельцем машины, машину на это время отсекают. Слив контура — только с продувкой воздухом и промывкой: капли, оставшиеся в трубках, упариваются, и концентрация реагента растёт.

13. Российские нормы

Таблица 16 Российские нормы

Участок	Основные документы	Что из них берём
Холодная и охлаждающая вода	СП 60.13330.2020; СП 73.13330.2016	Проектирование холодоснабжения, гидравлические испытания
Технологические трубопроводы промышленного объекта	СНиП 3.05.05-84 и его актуализированная редакция	Монтаж и испытания (применимость — по договору и проекту)
Пар и конденсат, горячая вода выше 115 °С	ФНП ОРПД (приказ Ростехнадзора № 536); ТР ТС 032/2013; 116-ФЗ	Трубопроводы пара, предохранительные устройства, паспорт, учёт, испытания. Порог — пар выше 0,07 МПа
Газ, рампа, газоиспользующее оборудование	ФНП по сетям газораспределения и газопотребления (приказ № 531); СП 62.13330	Газопровод, рампа, пуск газа, помещение
Котельная часть газовой машины в режиме нагрева	СП 89.13330.2016	Применимость — согласовать с экспертизой
Электрика	ПУЭ	Щит, кабели, приводы
Обозначения на схемах	ГОСТ 21.205, ГОСТ 21.208	Оформление схем и КИП

ФНП № 531 и № 536 действуют до 01.01.2027 — на момент выпуска проекта проверьте, какой акт их заменил.

Состав раздела ХС с АБХМ: тепломеханические решения (ХС), конструкции металлические (КМ), автоматизация (АХС), электромеханические решения (ЭМ); для газовой машины — раздел газоснабжения (ГСВ) и дымоудаление; для паровой — паропровод и конденсатопровод с расчётом предохранительных клапанов.

14. Типичные ошибки проекта

Таблица 17 Типичные ошибки проекта

Ошибка	Чем оборачивается	Как правильно
Градирня и насосы подобраны «как для чиллера»	Машина не держит мощность в первое жаркое лето	Сброс 1,72 (двухступенчатая) или 2,45 (одноступенчатая) кВт на кВт холода
Нет байпаса градирни	Кристаллизация в межсезонье	Трёхходовой клапан со сбросом в бассейн, ход до 120 с, каскад с вентилятором
Пар без сепаратора	Эрозия седла клапана и трубок, –4 % тепла	Сепаратор со своим конденсатоотводчиком до фильтра и клапана
Конденсатоотводчик по диаметру патрубка, на уровне генератора	Конденсат копится в генераторе, гидроудары	На 1,5 расхода, на 0,3 м ниже, вакуумный прерыватель
Конденсатопровод сразу на эстакаду	Противодавление выше 10 м вод. ст.	Самотёк до бака у машины, дальше насосом
Трёхходовой клапан горячей воды на выходе генератора	Регулирование не по инструкции, спор по гарантии	Клапан на входе, модулирующий
Переменный расход через испаритель	Машина отключается по реле протока	Постоянный первичный, переменный — во вторичном контуре
Фланцы ГОСТ к патрубкам ASME	Не собирается на монтаже	Ответные фланцы ASME B16.5 Class 150 в спецификации
Давление у патрубков выше 8 кгс/см ² в высоком здании	Разрушение водяных камер	Считать давление в нижней точке, решать компоновкой
Газ «узнаем потом»	Отказ в лимите после проекта	Расход газа в запросе ТУ на старте
Дымоход длинный, с отводами 90°	Горелка не выходит на мощность	Коротко, отводы 45°, проверка 0...–5 мм вод. ст. на выходе
Нагрузка на перекрытие по рабочей массе	Перекрытие не рассчитано на залив	Считать по аварийной массе
Нет резервного питания на разбавление	Кристаллизация при отключении	ИБП или резервный ввод на разбавительный цикл

15. Частые вопросы проектировщиков

Какая минимальная температура горячей воды? Серия LT работает от 70 °С, но мощность там заметно ниже номинала. Экономически — от 80 °С. На конкретный режим подбор делает завод: пришлите подачу, обратку и расход.

Можно ли получить холодную воду ниже +5 °С? Серии LT и 5G — до 3,5 °С, газовая 2V — до 1 °С на воде и до -2 °С на гликоле, специальные исполнения — до -5 °С. Ниже — компрессорная машина.

Какое минимальное давление держать в контуре холодной воды? Минимума Thermax не задаёт. На выходе машины держите не меньше 0,5 бар положительного давления. Максимум — 8 кгс/см² изб. по водяным камерам большинства серий.

Можно ли подключить две АБХМ или АБХМ и котёл к одной дымовой трубе? В общем случае завод не рекомендует. Если иначе нельзя — автоматическая заслонка и регулятор тяги на каждом газоходе, врезки не ближе 1 м по вертикали, ёмкость для конденсата внизу трубы; общий горизонтальный коллектор нельзя.

Какое максимальное сопротивление дымохода может преодолеть машина? Меньше 5 мм вод. ст. на выходе. Трубу проектируют так, чтобы она удаляла газы без дополнительного противодавления.

Можно ли использовать перегретый пар? Перегрев до 10 °С допустим, выше — пароохладитель с автоматическим регулированием на вводе пара.

Что будет, если пропадёт электричество? До 3 минут — машина переживает. Дольше — нужен разбавительный цикл, иначе возможна кристаллизация. Закладывайте ИБП или резервный ввод на машину.

Нужна ли водоподготовка? Да. Без неё накипь в абсорбере и конденсаторе: 1 мм отложений — около 14 % потери мощности и до 20 % роста энергопотребления.

Когда будут окончательные чертежи машины? Через 2–4 недели после размещения заказа. Стадия П — по каталогу и нашим ОТР.

Кто проверит наш проект? Мы. Проверяем разделы с нашим оборудованием, даже если проектирует сторонняя организация, — бесплатно.

16. Чек-лист проверки проекта

Исходные данные

- ☐ Есть график нагрузки по часам и месяцам, а не одна цифра холода.
- ☐ Параметры теплоисточника подтверждены режимной картой или паспортом, а не «со слов».
- ☐ Для пара записано, кто ещё его потребляет и что происходит в пик.
- ☐ Для газа есть технические условия с лимитом и давлением.
- ☐ Для выхлопа есть допустимое противодавление двигателя.
- ☐ Есть анализ воды для подпитки.

Расчёты

- ☐ Градирня и насосы охлаждающей воды посчитаны на сброс АБХМ (1,72 или 2,45 кВт на кВт холода).
- ☐ Расход холодной воды через машину постоянный.
- ☐ Давление у патрубков в нижней точке не выше 8 кгс/см² (ЛТ по горячей воде — 5).
- ☐ Нагрузка на перекрытие — по аварийной массе.
- ☐ Горелка и насосы — отдельными строками в электрике.

Обвязка

- ☐ Пар: отсечной клапан, сепаратор с отводчиком, фильтр, регулирующий клапан, манометр, предохранительный клапан — по порядку.
- ☐ Конденсатоотводчик на 1,5 расхода, на 0,3 м ниже генератора, вакуумный прерыватель, противодавление до 10 м вод. ст.
- ☐ Горячая вода: трёхходовой модулирующий клапан на входе, два отсечных, манометр перед ним.
- ☐ Газ: давление перед горелкой 60–100 мбар, рампа с контролем герметичности, дымоход 0...–5 мм вод. ст., конденсат через гидрозатвор.
- ☐ Байпас градирни со сбросом в бассейн, ход клапана до 120 с.
- ☐ Блокировка охлаждающей воды по протоку холодной.
- ☐ Ответные фланцы ASME B16.5 Class 150.
- ☐ Термометры и манометры на входе и выходе трёх контуров.

Компоновка и автоматика

- ☐ Зона выемки трубок и сторона щита не заняты.
- ☐ Помещение не ниже 0 °С, приток воздуха на горение не перекрывается.
- ☐ Монтажный проём и маршрут затаскивания по габариту машины в сборе.
- ☐ Последовательность пуска и останова, разбавительный цикл, резервное питание описаны в АХС.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — раздел на экспертизу отдавать рано.

17. Объекты: абсорбционные машины Thermax, поставленные «Энергией Холода»

Таблица 18 Объекты: абсорбционные машины Thermax, поставленные «Энергией Холода»

Объект	Машина	Источник тепла	Задача
Завод минеральных удобрений «ФосАгро», Череповец	2 × Thermax 2B 5N C	пар	Охлаждение установок кипящего слоя и барабанов охлаждения гранул
Завод «Полиэф» (СИБУР), Благовещенск	Thermax SS 40A-CU	пар	Охлаждение терефталевой кислоты при производстве ПЭТ
Завод «Уралхимпласт», Нижний Тагил	Thermax 2B 3M C	пар	Охлаждение синтетических смол
Солодовенный завод «Курский солод»	2B 5K C и 2B 6K C	пар	9–12 °C в солодовенном цехе
Завод «Сыры Кубани», Выселки	Thermax 5G 7L C	пар	Ледяная вода и кондиционирование
Деревообрабатывающий комплекс «Апшеронск»	Thermax 2B 4L C	пар	Охлаждение технологического оборудования производства смол
Ярославский завод парафино-восковой продукции	Thermax 2V 2K C-S	газ	Охлаждение парафино-восковой продукции
Завод «Оптическое волокно», Саранск	2 × Thermax 2V 3K C, закрытые градирни	газ	Охлаждение систем автоматического управления
Офисный центр АО «Мосгаз», Москва	2 × Thermax GD 20C TCU-S	газ	Кондиционирование и отопление; на 40 % меньше газа на ГВС, чем у водогрейных котлов
Жаназолская ГТЭС, Актобе	Thermax 2D 5M C	газ	Охлаждение воздуха на всасе газовой турбины
КГУ «Давыдовка» и «Особино», «Белоруснефть»	Thermax LT 14 C и LT 10 C	горячая вода от ГПУ	Кондиционирование
Дом правительства Московской области, Красногорск	3 × Thermax LT 42 T	горячая вода, энергоцентр 12 МВт	Центральное кондиционирование
ТЦ «Галерея», Саратов	2 × Thermax 5G 6L C	горячая вода, тригенерация	Кондиционирование; годовая выгода более 7 млн Р
АО «Тепличное», Свердловская обл.	2 × Thermax LT 12 C	горячая вода	Кондиционирование зоны фасовки, выход до 3,5 °C
Завод «Таркетт-Соммер», Мытищи	Thermax HS-40D-CU	горячая вода от сжигания опилок	Промышленное кондиционирование
Волжский трубный завод	2 × Thermax HS 50C-CU	горячая вода	Охлаждение автоматики агрегатов и пультов управления
НПФ «Микран», Томск	2 × Thermax 5G 4L C	горячая вода	Кондиционирование
ТРК «Триумф Плаза», Обнинск	Thermax 5G 5K C, две закрытые градирни	горячая вода	Кондиционирование; машина на 12-м этаже

Следующий шаг

Пришлите исходные данные из раздела 4 — подберём машину на ваш режим, выдадим лист технических данных, основные технические решения и схемы обвязки, а готовый раздел ХС проверим до экспертизы. Бесплатно.

«Энергия Холода» / НСТ · Санкт-Петербург · nc-t.ru · colden.ru · abxm-thermax.ru

Telegram-канал Максима Краснова, генерального директора: t.me/krasnov_energy

Словарь терминов

Термин	Что значит
АБХМ	Абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина: делает холод из тепла, хладагент — вода, абсорбент — раствор бромида лития
Генератор	Аппарат машины, где греющая среда выпаривает воду из раствора; у двухступенчатых машин их два — высокой и низкой температуры
Абсорбер	Аппарат, где крепкий раствор поглощает водяной пар из испарителя; отдаёт тепло охлаждающей воде
Тепловой коэффициент (COP)	Отношение выработанного холода к затраченному теплу: около 0,7 у одноступенчатых машин, 1,30–1,45 у двухступенчатых
Кристаллизация	Выпадение соли из переохлаждённого концентрированного раствора; машина останавливается
Разбавительный цикл	Режим после останова: насосы разбавляют раствор, чтобы при остывании он не закристаллизовался
Байпас градирни	Трёхходовой клапан, перепускающий охлаждающую воду мимо градирни в её бассейн, чтобы вода к машине не была холоднее минимума
Сухость пара	Доля пара в пароводяной смеси; машине нужна 0,99
Конденсатоотводчик	Арматура, выпускающая конденсат и удерживающая пар
Вакуумный прерыватель	Клапан, впускающий воздух в генератор, когда давление в нём падает ниже атмосферного
Пароохладитель (DSH)	Устройство, снимающее перегрев пара перед машиной
Газовая рампа	Арматура перед горелкой: кран, фильтр, регулятор, реле давления, двойной электромагнитный клапан
Контроль герметичности	Проверка перед розжигом, что оба отсечных клапана газа держат
Перекидная заслонка	Трёхходовая заслонка в газоходе двигателя: направляет выхлоп в машину или мимо неё
ГПУ	Газопоршневая установка: даёт электричество, тепло рубашки и выхлоп
Тригенерация	Электричество, тепло и холод от одного источника
ФНП ОРПД	Федеральные нормы и правила для оборудования, работающего под избыточным давлением
ОТР	Основные технические решения — пакет схем и данных для проектировщика

Список литературы

1. Thermax. New Hot Water (Twin) Series — руководство по эксплуатации и обслуживанию, Manual Part No. CZZE207601 (в тексте — ZE20).
2. Thermax. New Steam driven 2B — экспортный каталог, раздел «Piping and Instrumentation Guidelines».
3. Thermax. Direct Fired 2V — экспортный каталог, разделы «Piping and Instrumentation Guidelines» и «Foundation Drawing».
4. Thermax. ED Series, машина на выхлопных газах — руководство по эксплуатации, документ CZZA647601, 2009.
5. Trane–Thermax. ProChill B4k Steam-driven Absorption Chillers; EcoChill Nxt Fuel-driven Absorption Chillers; Hot Water Driven Absorption Chillers — брошюры.
6. Thermax. ProChill Hot Water Driven Absorption Chillers, LT/MT/HT series — брошюра.
7. Thermax. Каталоги на русском языке: «АБХМ на горячей воде», «LT на горячей воде», «Газовый чиллер Thermax», «Каталог газ 2V».
8. York (Johnson Controls). Millennium YIA Single-Effect Absorption Chillers, Steam and Hot Water — Engineering Guide, Form 155.16-EG1 (604). Открытый документ производителя.
9. Carrier. 16DN Direct-Fired, Double Effect, Hermetic Absorption Liquid Chiller/Heater, 352–2321 kW — Product Data; каталог CAT-16DN-E-1205-01.
10. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
11. СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы зданий».
12. СП 62.13330 «Газораспределительные системы».
13. СП 89.13330.2016 «Котельные установки».
14. ФНП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» (приказ Ростехнадзора № 536).
15. ФНП «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (приказ Ростехнадзора № 531).
16. ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».



«Энергия Холода» / NCT — российский производитель градирен, чиллеров, насосных групп и автоматики NCT и эксклюзивный партнёр Thermax в России с 2011 года.

Санкт-Петербург · nc-t.ru · colden.ru · abxm-thermax.ru

Подбор машины на ваш режим, основные технические решения, схемы обвязки и проверка раздела ХС до экспертизы — бесплатно для проектировщика заказчика.

Telegram-канал Максима Краснова, генерального директора: t.me/krasnov_energy

ЭХ-АРМ001-RU (октябрь 2026). Материал для проектировщиков, распространяется свободно. Рабочие параметры для проекта — по листу технических данных конкретной модели.