

Вебинар «Промышленная вентиляция, холодоснабжение» · 26 августа 2026

Градирня в проекте

Как не ошибиться с подбором и что проверить до выдачи документации

Максим Краснов — генеральный директор «Энергии холода» / NCT.

Производим градирни, чиллеры и АБХМ. Более 350 установленных градирен.

Единственные в России и СНГ члены СТІ — института, который пишет мировые стандарты на градирни.



Зачем вообще нужна градирня

Любой процесс производит тепло. Вопрос один: куда его деть

ПРЯМОТОК ИЗ ВОДОЁМА

взяли из реки — нагрели —
слили обратно

для 1000 м³/ч нужна
такая же река

сегодня почти везде
закрыто: лимиты забора,
сбросы, плата за ресурс

СУХОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

воды нет вообще,
только обдув

предел — СУХОЙ термометр
наружного воздуха

летом в жару
процессу этого
часто не хватает

ОБОРОТНЫЙ ЦИКЛ + ГРАДИРНЯ

вода ходит по кругу,
тепло уходит в атмосферу
с испарением

предел — МОКРЫЙ термометр,
он ниже сухого

из водоёма берём только
подпитку взамен испарения

ЧТО ДАЁТ ОБОРОТНЫЙ ЦИКЛ В ЦИФРАХ

Контур 1000 м³/ч, охлаждение на 10 К. Прямоток: 1000 м³/ч свежей воды.

Оборотный цикл с градирней: испарение 17 м³/ч плюс продувка — около 25 м³/ч подпитки.

Свежей воды нужно почти в сорок раз меньше. Ради этого градирня и стоит на площадке.

*Где это работает: конденсаторы чиллеров и АБХМ, компрессорные, печи и литьё,
энергетика, нефтехимия, дата-центры*

Оборотный цикл вместо прямотока: свежей воды нужно почти в сорок раз меньше



Объект заказчика · градирня NCT на кровле

Всё, о чём пойдёт речь, проверяется на бумаге за час — или на объекте за два сезона

Пятнадцать минут, четыре узла, где ошибаются чаще всего

- | | | |
|---|---|-------|
| 1 | Расчётная точка: по какому документу её вообще считать | 5 мин |
| 2 | Конструкция, COP чиллера, АБХМ и два режима закрытой градирни | 6 мин |
| 3 | Вода и зима: что теряется ко второму году | 3 мин |
| 4 | Насосы открытого контура: напор и NPSH | 2 мин |
| 5 | Размещение: рециркуляция и план площадки | 2 мин |

Часть 1

Расчётная точка

С неё начинается подбор — и здесь же расходятся два источника, из которых её берут

С этого начинается любой подбор

Предел охлаждения — не воздух за окном, а мокрый термометр

Градирня охлаждает испарением: испарив 1 % расхода, мы охлаждаем остальные 99 % примерно на 5,5 К.

Поэтому в расчёт идёт не та температура, что показывает градусник на улице.

Мокрый термометр: два источника, и они дают разные цифры

Откуда берётся расчётный мокрый термометр для градирни

ПУТЬ 1 — ЧЕРЕЗ СВОДЫ ПРАВИЛ

СП 60.13330.2020 + СП 131.13330.2025

СП 60, п. 5.13: параметры принимаются по СП 131; для кондиционирования в тёплый период — параметр Б, энтальпия и влагосодержание — прил. П

Мокрый термометр выводится из пары «температура + энтальпия» по h-d

СП 60, п. 8.15: к нему ДОБАВЛЯЮТСЯ поправки на место размещения

Обеспеченность годовая

ПУТЬ 2 — ПРОФИЛЬНОЕ ПОСОБИЕ

Пособие по проектированию градирен, ВНИИ ВОДГЕО

п. 2.35: расчёт по среднесуточным температурам сухого и влажного термометров, обеспеченность 1...10 % за ИЮНЬ-ИЮЛЬ-АВГУСТ

табл. 7: готовые значения по городам, влажный термометр берётся напрямую

табл. 6: обеспеченность выбирается по категории водопотребителя

Обеспеченность за три летних месяца

ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ НА ПРАКТИКЕ

Расчётные ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУХА для градирен задаёт СП 60.13330.2020 — это действующая норма.

А вот МЕТОДИКИ теплового расчёта самого аппарата в действующих сводах правил нет: раздел про охладители оборотной воды из СП 31.13330.2021 исключён, и отраслевой базой осталось Пособие ВНИИ ВОДГЕО — документ к отменённому СНиП 2.04.02-84.

Пути дают разные цифры и разную обеспеченность — выбранный фиксируется в задании письменно.

Профильная методика и свежая климатология расходятся — и по значениям, и по обеспеченности

Расчётные параметры по городам: цифры, а не «средняя полоса»

Расчётные параметры воздуха для градирен: цифры, а не «по средней полосе»

Пособие по проектированию градирен (ВНИИ ВОДГЕО), таблица 7 · обеспеченность за июнь-июль-август

Пункт наблюдения	обеспеченность 1 %		обеспеченность 5 %		обеспеченность 10 %	
	сухой / влажн.	МОКРЫЙ	сухой / влажн.	МОКРЫЙ	сухой / влажн.	МОКРЫЙ
Москва	27,0 / 55 %	20,8	24,5 / 57 %	19,0	22,9 / 59 %	17,9
Ленинград (СПб)	26,0 / 56 %	20,1	23,2 / 60 %	18,3	21,7 / 63 %	17,4
Казань	26,8 / 43 %	18,7	24,6 / 51 %	18,2	23,4 / 55 %	17,8
Краснодар	28,0 / 55 %	21,6	26,5 / 57 %	20,6	25,5 / 59 %	20,1
Екатеринбург	25,8 / 49 %	18,8	23,2 / 57 %	17,8	21,5 / 62 %	17,0
Новосибирск	25,4 / 54 %	19,3	23,3 / 59 %	18,2	22,0 / 63 %	17,6

Какую обеспеченность брать (табл. 6)
I категория — 1 %, II — 5 %, III — 10 %
Это 1, 5 и 10 дней в году хуже расчётных

Ряды наблюдений — до конца 1980-х годов.
Климат с тех пор потеплел, поэтому цифры
сверяйте с актуальной климатологией.

Обеспеченность выбирается по категории водопотребителя: 1 %, 5 % или 10 % за летние месяцы

Что должно уйти изготовителю вместе с заданием

Подбор делает завод, но исходные данные задаёте вы — и от них зависит всё остальное

- 1 Расход воды и тепловая нагрузка, из которой он получен
- 2 Температура воды на входе и на выходе из градирни
- 3 Расчётный мокрый термометр и обеспеченность, по которой он принят
- 4 Требования по резервированию: что происходит при остановке одной секции
- 5 Место на площадке: габарит, подходы, чем ограничены высота и планировка
- 6 Круглогодичная работа или сезонная — от этого зависит вся зимняя обвязка

Табличного значения мало: СП 60 требует поправок на место размещения

СП 60.13330.2020, п. 8.15: к мокрому термометру добавляют градусы

Это требование свода правил, а не рекомендация производителя



Место размещения определяется ДО подбора: в задании изготовителю уже поправленное значение

Часть 2

Конструкция

Открытая, закрытая, с оребрением — и где из схемы уходит чиллер

Три конструкции: что выбрать под конкретную задачу

Какую конструкцию выбрать: три вопроса и ответ

ОТКРЫТАЯ

Вода контактирует
с воздухом напрямую

Вода на выходе:
мокрый + 3...5 К

Подпитка: полная,
≈ 1,8 % расхода на 10 К

Капзатраты: базовые ×1

Где: оборотные циклы,
конденсаторы чиллеров,
компрессорные

ЗАКРЫТАЯ

Среда идёт в змеевике,
воздуха не касается

Вода на выходе:
мокрый + 5...8 К

Подпитка: только
на орошение змеевика

Капзатраты: ×1,8...2,5

Где: гликоль, чистые
контуры, ЦОД, там где
нельзя грязь в контур

СУХАЯ (с оребрением)

Только воздух,
воды нет вообще

Вода на выходе:
СУХОЙ + 5...10 К

Подпитка: ноль

Капзатраты: ×1,5...3
и больше площадь

Где: нет воды, зимняя
работа, фрикулинг,
высокая обратная вода

Открытая — дешевле и эффективнее. Закрытая — когда среду нельзя пускать в контакт с воздухом

Градирня определяет COP чиллера, а не просто «отводит тепло»

Градирня — это не «отвод тепла», это COP чиллера

ВОЗДУШНЫЙ ЧИЛЛЕР конденсатор обдувается	ЧИЛЛЕР + СУХОЙ ОХЛАДИТЕЛЬ	ЧИЛЛЕР + МОКРАЯ ГРАДИРНЯ
считается по СУХОМУ термометру	тоже по СУХОМУ термометру	считается по МОКРОМУ термометру
+28 °C наружного + приближение 12...15 K	вода ≈ 33...38 °C + приближение конденсатора	вода ≈ 25...29 °C + приближение конденсатора
конденсация ≈ 42...45 °C	конденсация ≈ 38...43 °C	конденсация ≈ 30...34 °C
базовое потребление компрессора ×1,0	выигрыш небольшой: предел тот же — воздух	на 8...12 K ниже, чем у воздушной схемы

ЧТО ЭТО ЗНАЧИТ В ДЕНЬГАХ: каждый градус температуры конденсации — 2...3 % потребления компрессора.
Разница в 10 K — это порядка 20...30 % электричества, и не разово, а каждый час работы машины.

Мокрая градирня опускает температуру конденсации на 8–12 K против воздушной схемы, и COP растёт вместе с этим



Чиллеры NCT на объекте

Тот же чиллер с водяным конденсатором и градирней потребляет заметно меньше, чем с воздушным

Когда закрытая градирня исключает чиллер из схемы

Температурная линейка: где чиллер ещё нужен, а где уже нет



ЧТО ПОПАДАЕТ В ЗЕЛЁНУЮ ЗОНУ

рубашки и масло компрессоров $30...40\text{ }^{\circ}\text{C}$
гидравлика и редукторы $30...40\text{ }^{\circ}\text{C}$
индукционные печи, сварка $30...35\text{ }^{\circ}\text{C}$
пресс-формы, литьё $25...35\text{ }^{\circ}\text{C}$
контуры ЦОД с высокой обратной $30...45\text{ }^{\circ}\text{C}$
вакуумные насосы, компрессорные

ЧТО ЭТО ДАЁТ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

Чиллер с водяным конденсатором
 $\approx 0,20...0,30\text{ кВт на }1\text{ кВт холода}$

Закрытая градирня, вентиляторы и насос
 $\approx 0,02...0,04\text{ кВт на }1\text{ кВт холода}$

Разница на порядок. Плюс из проекта уходит
всё, что связано с хладагентом.

Если процессу достаточно $30...40\text{ }^{\circ}\text{C}$, компрессорный холод в схеме не нужен вовсе

АБХМ: здесь выбора между типами градирен фактически нет

АБХМ: градирня здесь не вариант из трёх, а единственный работающий

ПРИЧИНА ПЕРВАЯ: ОБЪЁМ ТЕПЛА

сколько тепла уходит в градирню на 1 кВт холода
компрессорный чиллер  **×1.25**

АБХМ  **×2.4**

Тепла отводить примерно вдвое больше. Градирня, насосы и трубопроводы заметно крупнее — место под них закладывается сразу, а не потом.

ПРИЧИНА ВТОРАЯ: ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ

АБХМ рассчитана на охлаждающую воду порядка 30...32 °С на входе.

Вода теплее — падает холодопроизводительность и растёт риск кристаллизации раствора.

Это не пожелание производителя, а рабочая точка машины

КТО ФИЗИЧЕСКИ МОЖЕТ ДАТЬ ВОДУ 30...32 °С ЛЕТОМ

СУХОЙ ОХЛАДИТЕЛЬ

предел — сухой термометр +28 °С и выше

вода получается 33...38 °С

НЕ ПОДХОДИТ

ЗАКРЫТАЯ ГРАДИРНЯ

вода = мокрый + 5...8 К по температуре проходит, но на двойном тепле становится огромной

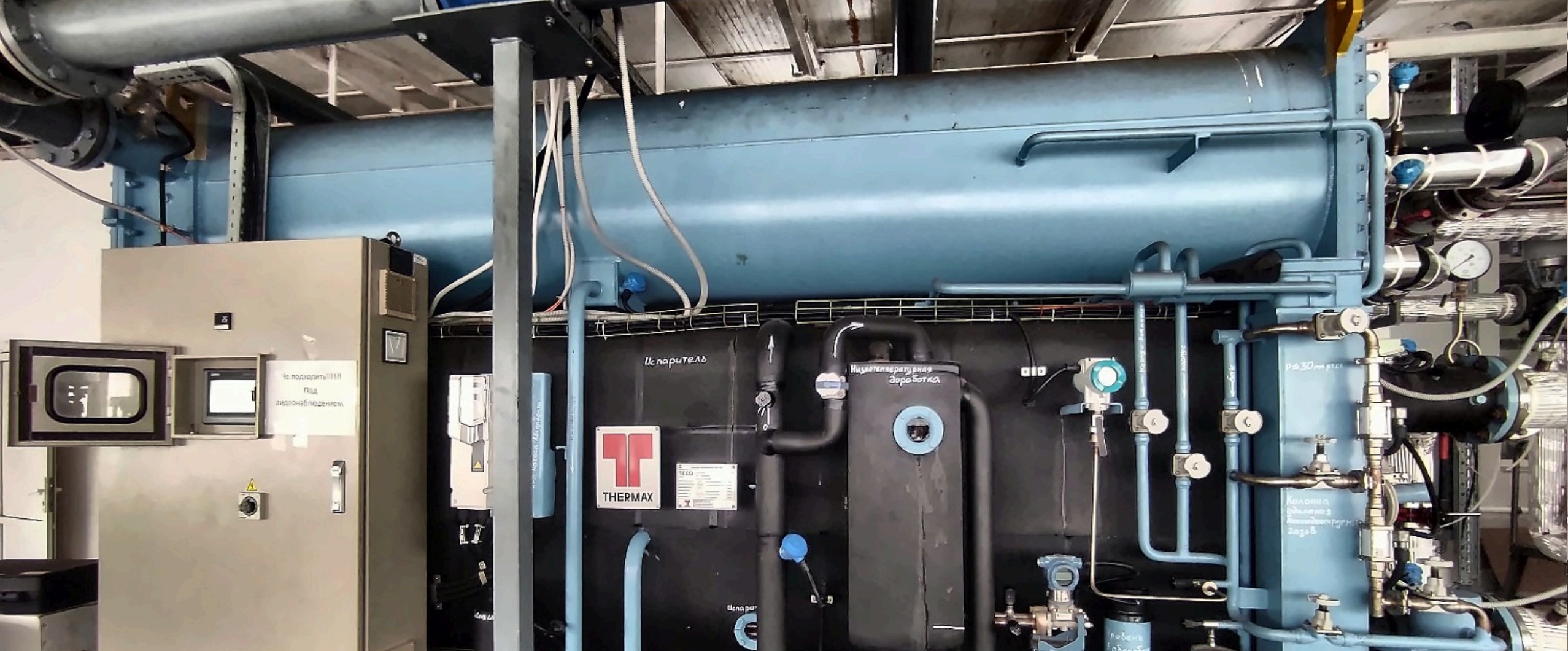
РЕДКО ОПРАВДАНА

ОТКРЫТАЯ МОКРАЯ

вода = мокрый + 3...5 К при мокром 19...21 °С это 23...26 °С — с запасом к 30...32

РАБОЧИЙ ВАРИАНТ

Вдвое больше отводимого тепла и жёсткое требование по температуре воды оставляют один вариант



АБХМ Thermax на объекте · машинный зал

Абсорбционная машина ест 5–10 кВт электричества на мегаватт холода — но всё тепло уходит в градирню

Закрытая градирня умеет два режима, о которых забывают в проекте

Два режима, которые закладываются в проект, а не докупаются потом



Сухопарник убирает видимое парение, а зимой тот же змеевик работает всухую — как драйкулер



Оребренные трубы · наше производство

Тот самый змеевик: летом он орошается, зимой работает всухую, а в сухопарнике греет воздух без влаги

Часть 3

Вода и зима

Что закладывается в проект, чтобы мощность не ушла ко второму году

Водный баланс: считается в блокноте за две минуты

17

м³/ч испарения

$E = 0,0017 \times G \times \text{Range}$
для 1000 м³/ч и range 10 K.
Ниже этой величины подпитки
не бывает никогда

8,5

м³/ч продувки при N = 3

$B = E / (N - 1)$
N — цикл концентрирования,
во сколько раз вода
«загустела» против водопровода

25,5

м³/ч подпитки

$M = E + B$
При N = 7 будет 19,8 м³/ч,
то есть на 22 % меньше.
После 6–7 циклов кривая выполаживается

Эту цифру заказчик должен увидеть до подписания договора, а не на второй год эксплуатации

Куда уходит мощность ко второму году



Порядки величин по отраслевым источникам (CTI, ASHRAE); точная цифра зависит от режима и воды.
Ключевое: биоплёнка проводит тепло ХУЖЕ накипи, поэтому при равной толщине она опаснее — это и есть ответ на вопрос, почему водоподготовка не опция, а часть проекта.

Водоподготовка — не опция и не довесок, а часть проекта градирни

Что заложить в проект по воде и по зиме

Семь пунктов, которых чаще всего не хватает в документации

- 1 Узел дозирования реагентов и место под него на площадке
- 2 Автоматическая продувка по солесодержанию, а не «вручную по регламенту»
- 3 Фильтрация бокового потока и приемок для сброса
- 4 Водоучёт на подпитке и на продувке — иначе цикл не посчитать
- 5 Зима: регулирование вентиляторов частотником, реверс, байпас мимо насадки
- 6 Обогрев поддона и греющий кабель на трассах, слив при остановке
- 7 Программа контроля легионеллы: температура, pH, остаточный биоцид

Зимний режим: чем конструктивное решение отличается от накидных экранов

Чем борются с обмерзанием градирни



Первые четыре — режимы и оснастка, за которыми надо следить каждую зиму.
Последний работает сам и не требует сезонных операций.

Реверс, ступенчатое управление по секциям, байпас, ветрозащита — или конструкция, где задача решена сама



Сборочный цех, Сертолово

Всё, что не заложено в проект, приходится решать здесь — и это всегда дороже

Часть 3.5

Насосы открытого контура

Где градирня отличается от закрытой системы и почему там гибнут рабочие колёса

Напор считается иначе: к потерям добавляется подъём

Напор в открытом контуре считается иначе, чем в закрытом



В закрытом кольце подъём компенсируется спуском, в открытом контуре — нет

NPSH: подпор даёт только уровень воды в поддоне

Открытый контур: подпор насосу даёт только уровень воды в поддоне



ЧТО СЧИТАЕМ

$$NPSH_a = N_{атм} + N_{подпор} - N_{потери} - N_{пар}$$

- $N_{атм}$ — атмосферное, около 10,3 м вод. ст.
- $N_{подпор}$ — уровень воды над осью насоса
- $N_{потери}$ — фильтр, колена, длина всасывания
- $N_{пар}$ — давление насыщенных паров при температуре воды, растёт с нагревом

Правило: $NPSH_a$ должен превышать $NPSH_r$ насоса на 0,5...1 м

ЧТО СЪЕДАЕТ ЗАПАС В ГРАДИРНЕ

- горячая вода: у обратной с градирни 35...40 °С
давление паров заметно выше, чем у холодной
- насос поставили выше поддона или далеко от него
- длинная всасывающая линия с коленами
- забитый фильтр на всасывании — запас уходит постепенно, и авария выглядит внезапной
- низкий уровень в поддоне при малой подпитке

**Кавитация звучит как гравий в насосе.
Колесо разрушается за недели**

Открытый контур: атмосфера плюс подпор минус потери минус давление паров

Насосная группа градирни: что проверить в проекте

Шесть пунктов, которые снимают большую часть отказов на пуске и в первый год

- 1 Насос расположен ниже уровня воды в поддоне и рядом с градирней
- 2 Кавитационный запас посчитан на ГОРЯЧЕЙ воде, а не на воде 20 °С
- 3 Запас между доступным и требуемым NPSH не меньше 0,5–1 м
- 4 Всасывающая линия короткая, без лишних колен, фильтр доступен для чистки
- 5 В напор заложена геодезия до водораспределения и напор перед форсунками
- 6 Резерв посчитан честно: два насоса параллельно дают прирост 30–50 %, а не вдвое

Часть 4

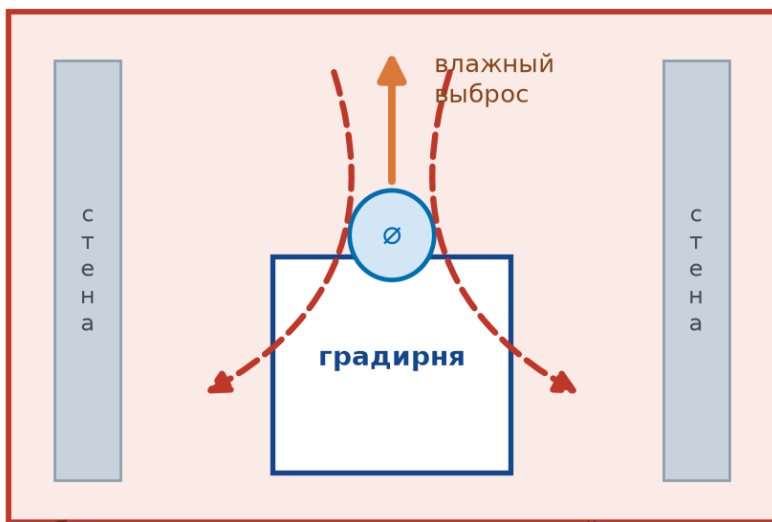
Размещение

Самая дорогая ошибка, потому что исправляется только переносом

Рециркуляция: аппарат сам себе портит расчётную точку

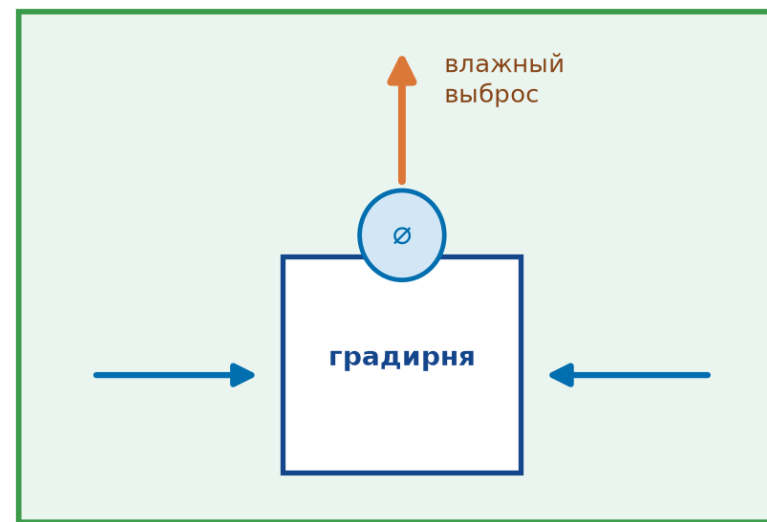
Рециркуляция: самая дорогая ошибка размещения

ОШИБКА: зажали между стенами



выброс возвращается на вход: мокрый термометр
НА ВХОДЕ растёт на 1...3 К — мощность падает,
а виноватым назначают «плохой аппарат»

ПРАВИЛЬНО: свободный подсос

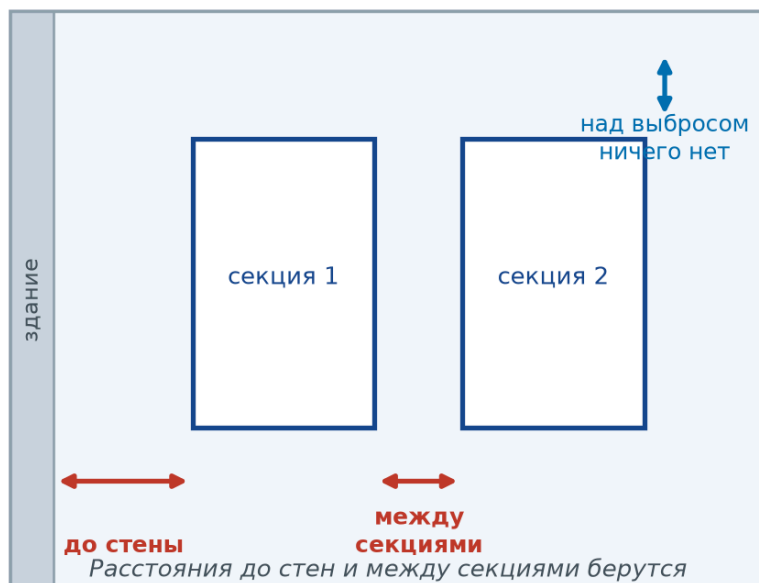


свежий воздух приходит с боков,
выброс уходит вверх и не возвращается

Влажный выброс вернулся на вход — мокрый термометр на входе вырос, и подбор перестал быть верным

План площадки: что проверить до выдачи

План размещения: что должно быть на чертеже до выдачи



Расстояния до стен и между секциями берутся из руководства конкретного аппарата: единой цифры на все градирни не существует.

ЧТО ПРОВЕРИТЬ НА ПЛАНЕ

1. Свободный подсос со всех сторон воздухозабора
2. Ничего выше градирни рядом: стена, соседний аппарат, парапет
3. Забор воздуха приточных установок — не в факеле градирни
4. Роза ветров: куда снесёт факел и капли зимой
5. Расстояние до жилья и расчёт шума, минус 6 дБ на удвоение расстояния
6. На кровле — нагрузка на перекрытие и собственная частота плиты
7. Подход для обслуживания и замены насадки, лестницы и площадки

Расстояния берутся из руководства конкретного аппарата — универсальной цифры не существует



Градирни NCT · открытая и закрытая на одной площадке

Правильно размещённая градирня незаметна в эксплуатации — в этом и есть результат проекта

Итог: что проверить до выдачи документации

Восемь вопросов, которые снимают большинство проблем эксплуатации

- 1 Мокрый термометр взят из Пособия ВНИИ ВОДГЕО и закреплён в задании письменно
- 2 Обеспеченность выбрана по категории водопотребителя, а не «по умолчанию»
- 3 Температура воды на выходе не назначена вплотную к мокрому термометру
- 4 Проверено, нужен ли чиллер вообще, а под АБХМ градирня считается по холоду плюс теплу
- 5 Водоподготовка, продувка и водоучёт есть в проекте и им хватает места
- 6 Зимний режим решён конструкцией и автоматикой, а не ручными операциями
- 7 Насос ниже уровня в поддоне, кавитационный запас посчитан на горячей воде
- 8 На плане нет рециркуляции, а факел не попадает в забор приточных установок

Заберите чек-лист проектировщика

- ✓ 56 проверок градирни перед выдачей документации
- ✓ Формулы водного баланса и порядок расчёта расчётной точки
- ✓ Что спросить у технолога и у заказчика до начала подбора
- ✓ Типовые ошибки размещения с разбором последствий

Чек-лист лежит в закреплённом сообщении канала — забрать можно прямо сейчас

Чек-лист и разборы объектов

t.me/krasnov_energy

Telegram-канал «Максим, нужно охлаждение!» · пишу сам, вопросы разбираю лично.
Ссылка продублирована в чате вебинара — чек-лист в закреплённом сообщении.