

Руководство для инженеров

Градирни NCT Проектирование и обвязка

Открытые и закрытые градирни:
подбор, расчёты, схемы контура, обвязка, зима, автоматика,
нормы



Содержание

Введение	7
1. Когда какая градирня	8
2. Серии градирен NCT	16
3. Исходные данные	24
4. Расчёты с примерами	34
5. Принципиальные схемы контура	48
6. Обвязка	61
7. Зима	72
8. Размещение	80
9. Автоматика	88
10. Качество воды	98
11. Российские нормы	106
12. Приёмка по мощности	111
13. Самопроверка	116
14. Наши объекты	121
Словарь терминов	124
Список литературы	125

Список рисунков

Рисунок 1	Шесть способов отвести тепло: где есть испарение и где вода заказчика касается воздуха	8
Рисунок 2	Закрытая градирня: закрытый контур жидкости под давлением и открытый контур орошения в одном аппарате	10
Рисунок 3	Температурная лестница: какую воду даёт каждый аппарат в один и тот же летний день. Цифры иллюстративные, точные даёт подбор	13
Рисунок 4	Открытые градирни NCT серии VR на кровле: центробежные вентиляторы в нижнем сухом отсеке	18
Рисунок 5	Открытая градирня NCT серии VA: осевой вентилятор большого диаметра сверху, воздухозаборные жалюзи по периметру	19
Рисунок 6	Закрытая градирня NCT с оребрённым змеевиком на заводе перед отгрузкой: патрубки змеевика и насос орошения	21
Рисунок 7	Цепочка исходных данных: от нагрузки и климата к подбору градирни и смежным разделам	24
Рисунок 8	Range, approach и мокрый термометр на одной температурной шкале	26
Рисунок 9	Требуемая характеристика градирни растёт всё круче по мере уменьшения approach	27
Рисунок 10	Годовой профиль: подбор делают по летней точке, а эксплуатация идёт при частичной нагрузке и зимой	30
Рисунок 11	Четыре потока водного баланса открытой градирни на примере 1000 м ³ /ч	35
Рисунок 12	Подпитка и продувка в зависимости от циклов концентрирования: после шести циклов выигрыш мал	37
Рисунок 13	Высотная схема и пьезометрическая линия открытого контура: из чего складывается напор 19,7 м	38
Рисунок 14	Пять слоёв бака на примере 1000 м ³ /ч: мёртвый объём, подпитка, drain-down, запас до борта	41
Рисунок 15	Температура переключения в сухой режим зависит от нагрузки	45
Рисунок 16	Схема А: открытый контур с насосом из поддона градирни	49
Рисунок 17	Карта стока при остановке: какие участки трассы стекают в поддон	51
Рисунок 18	Схема Б: градирня на улице сливает воду самотёком в бак в тёплом помещении	52
Рисунок 19	Схема В: открытый контур градирни, разделительный теплообменник, чистый контур потребителя	54
Рисунок 20	Схема Г: три градирни на общих коллекторах с выравнивающей линией между поддонами	56
Рисунок 21	Внутренний контур закрытой градирни: бак на всасе насосов, подпитка, воздухоотводчики, сепаратор, байпас	57
Рисунок 22	Станция долива гликоля держит давление готовым раствором и не разбавляет контур	59
Рисунок 23	Выход поддона без противоворонкового устройства и с ним	62
Рисунок 24	Вакуумный клапан в верхней точке петли: срыв сифона при остановке насоса	63

<i>Рисунок 25</i>	Две градирни на общих коллекторах: балансировка расхода и выравнивание уровней	65
<i>Рисунок 26</i>	Перелив без арматуры и дренаж в нижней точке	66
<i>Рисунок 27</i>	Поплавковый клапан подпитки, электромагнитный клапан и разрыв струи над переливом	67
<i>Рисунок 28</i>	Датчики уровня и их уставки	68
<i>Рисунок 29</i>	Полный поток, боковой поток и подпитка: три места для фильтра	69
<i>Рисунок 30</i>	Зимняя схема открытого контура: трёхходовой клапан в тёплой зоне, байпас в поддон, ТЭН, дренажи наружных труб	74
<i>Рисунок 31</i>	Трёхходовой клапан байпаса: 100 % на форсунки, 50/50, 100 % в поддон	74
<i>Рисунок 32</i>	Противоточная градирня VR: центробежный вентилятор в сухом отсеке не контактирует с влажным выхлопом и не обмерзает	76
<i>Рисунок 33</i>	Метод конверта: минимальный отступ воздухозабора от сплошной стены	81
<i>Рисунок 34</i>	Два источника шума — две меры: шумоглушитель на выхлопе и насадка в поддоне	84
<i>Рисунок 35</i>	Каплеуловитель тройного изгиба и зона вокруг выхлопа, куда нельзя ставить воздухозаборы	86
<i>Рисунок 36</i>	Уровни автоматики контура и обмен сигналами между щитами	89
<i>Рисунок 37</i>	КИП открытого контура: точки установки. Позиции 1–18 — по таблице раздела 9.2, 19 и 20 — клапаны подпитки и продувки	91
<i>Рисунок 38</i>	Испарительный конденсатор: какие сигналы уходят в щит холодильной установки	92
<i>Рисунок 39</i>	Продувка по электропроводности: логика контроллера	96
<i>Рисунок 40</i>	Панель ХВП с двумя дозирующими насосами: точки врезки и сигналы	101
<i>Рисунок 41</i>	Где в контуре прячется легионелла и где в проекте ставятся точки отбора	105
<i>Рисунок 42</i>	Контур градирни в разделах стадии П и марках стадии Р	109
<i>Рисунок 43</i>	Точки замеров при приёмочных испытаниях градирни	112
<i>Рисунок 44</i>	Аспирационный психрометр: принцип работы	113
<i>Рисунок 45</i>	Карта типовых ошибок проекта контура: номера соответствуют таблице раздела 13.1	117

Список таблиц

Таблица 1	Открытая градирня	9
Таблица 2	Сухая градирня (драйкулер) и гибридные решения	12
Таблица 3	Таблица выбора	13
Таблица 4	Когда вариант не подходит	14
Таблица 5	Карта линейки	16
Таблица 6	Опции градирен NCT	21
Таблица 7	Материал корпуса: сравнение	22
Таблица 8	Range и approach: почему они определяют размер градирни	26
Таблица 9	Мокрый термометр по температуре и влажности	28
Таблица 10	Чувствительность холодной воды к мокрому термометру	29
Таблица 11	Режимы: летний расчётный — только один из пяти	30
Таблица 12	Опросный лист NCT: что заполнить до подбора	31
Таблица 13	Что будет, если ошибиться в данных	32
Таблица 14	Таблица для быстрой проверки	34
Таблица 15	Коэффициент испарения по разным источникам	35
Таблица 16	Допустимые циклы концентрирования по показателям	36
Таблица 17	Вентиляторы и двигатели серий NCT	42
Таблица 18	Двигатель и масса по габаритным чертежам NCT	43
Таблица 19	Подбор закрытой градирни: поправка на гликоль и температура переключения в сухой режим	45
Таблица 20	Сквозной пример: от исходных данных до подпитки, напора насоса и объёма бака	46
Таблица 21	Пять вопросов, которые выбирают схему	48
Таблица 22	Схема Б: отдельный бак в тёплом помещении	53
Таблица 23	Схема В: разделительный теплообменник	54
Таблица 24	Сравнение схем	59
Таблица 25	Патрубки и условные проходы	61
Таблица 26	Параллельные градирни и выравнивающая линия	64
Таблица 27	Сводка: элемент обвязки, зачем он и типовая ошибка	70
Таблица 28	Регулирование вентиляторов: частотник, каскад, отключение секций	73
Таблица 29	Байпас в поддон и полный обход градирни	73
Таблица 30	Время остывания контура зимой	75
Таблица 31	Закрытая градирня: гликоль, вода с защитой, сухой режим	77
Таблица 32	Зимние схемы контура орошения	78
Таблица 33	Расстояния до стен и между градирнями: метод конверта	82
Таблица 34	Шум и шумоглушители	83
Таблица 35	Кровля, опоры и вибрация	85
Таблица 36	Аэрозоль и капельный унос рядом с воздухозаборами	86

Таблица 37	Сводная таблица: ситуация — расстояние или решение	87
Таблица 38	КИП открытого контура: что и где мерить	89
Таблица 39	Байпас и зимний алгоритм	94
Таблица 40	Подпитка, ТЭНы и блокировки	96
Таблица 41	Сигналы в диспетчерскую и смежным щитам	97
Таблица 42	Нормы для открытого и закрытого контура	98
Таблица 43	Продувка и циклы концентрирования	100
Таблица 44	Обработка воды и панель ХВП	102
Таблица 45	Выбор типа — по анализу частиц	102
Таблица 46	Легионелла: план контроля	104
Таблица 47	Документ — что из него берём	106
Таблица 48	Что спрашивает экспертиза	108
Таблица 49	Стадии П и Р: куда ложится контур	108
Таблица 50	Сертификация тепловой характеристики: CTI STD-201RS	111
Таблица 51	Приёмочные испытания: какой документ под какой аппарат	111
Таблица 52	Что мерить и где ставить точки замеров	112
Таблица 53	Условия дня испытания	113
Таблица 54	Типичные ошибки проекта	116
Таблица 55	Ошибки, которые не видны на схеме	117
Таблица 56	Наши объекты	121

К ЧИТАТЕЛЮ

Дорогие коллеги! Это руководство. Он объясняет, как работает градирня и её контур и почему схему и обвязку делают так, а не иначе, и даёт цифры для проверки расчёта. Но каждый объект живёт по своим условиям: свой климат, своя вода, своя площадка и свои требования 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»: исходные данные, расчёты, схемы, обвязка, проект. Кому какие разделы:

- **проектировщик раздела оборотного водоснабжения или ХС** — всё руководство, в первую очередь разделы 3–8 и чек-листы;
- **ГИП и главный инженер заказчика** — разделы 1–3 (какая градирня нужна и что для неё задать) и раздел 13 (типовые ошибки);
- **проектировщик ВК и водоподготовки** — разделы 4, 6 и 10;
- **проектировщик автоматики (АТХ, АХС)** — разделы 7 и 9;
- **конструктор и архитектор площадки** — разделы 4.5 и 8;
- **эксперт и технический надзор** — разделы 11–13.

Руководство написано для инженера, которому выпускать раздел с градирней, а опыта с ней мало. Порядок разделов повторяет порядок работы над проектом:

- **разделы 1–2** — решить, какая градирня нужна: открытая или закрытая, какой серии;
- **раздел 3** — собрать исходные данные, без которых градирню не подобрать;
- **раздел 4** — посчитать расход, водный баланс, гидравлику, бак, нагрузки;
- **разделы 5–6** — выбрать схему контура и нарисовать обвязку;
- **разделы 7–10** — зима, размещение, автоматика, качество воды;
- **разделы 11–12** — российские нормы и приёмка градирни по мощности;
- **раздел 13** — типовые ошибки, частые вопросы, итоговый чек-лист проверки проекта.

Цифры в руководстве взяты из каталогов, технических предложений и опросных листов NCT, из российских сводов правил, стандартов CTI и ASHRAE и из проектов «Энергии Холода». **Рабочая цифра для проекта — всегда из технического предложения на конкретную модель под ваш режим:** его выдаём бесплатно по опросному листу (раздел 3).

ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем проектировщику. «Энергия Холода» — российский производитель градирен, чиллеров, насосных групп и автоматики NCT в Санкт-Петербурге. Проектировщику заказчика бесплатно: подбор градирни на ваш режим, основные технические решения (ОТР), габаритные чертежи и типовые схемы обвязки, консультация инженера, проверка готового раздела до экспертизы.

1. Когда какая градирня

У всех аппаратов этого раздела одна работа: забрать тепло у технологии или холодильной машины и выбросить его в атмосферу. Различаются они двумя признаками. Первый: касается ли вода заказчика наружного воздуха. Второй: работает аппарат за счёт испарения воды или только нагревом воздуха.

Для первой прикидки хватает двух вопросов к технологу: что течёт в контуре (вода, гликоль или хладагент) и есть ли на площадке вода для подпитки и сброс стоков. Ответы сразу отсекают половину вариантов.

Рисунок 1 Шесть способов отвести тепло: где есть испарение и где вода заказчика касается воздуха



1.1. Два числа и два термометра

Температура сухого термометра (dry-bulb temperature) — то, что показывает обычный уличный термометр. Температура мокрого термометра (wet-bulb temperature) — то, что покажет термометр, обёрнутый мокрой тканью на ветру: вода с ткани испаряется и охлаждает его. Чем суше воздух, тем ниже мокрый термометр. В жаркий день средней полосы разница между сухим и мокрым достигает 7–10 градусов.

Все испарительные аппараты — открытая и закрытая градирни, испарительный конденсатор — охлаждают воду к мокрому термометру. Ниже него они не охлаждают физически. Сухой охладитель (драйкулер) охлаждает только к сухому термометру и подходит к нему хуже, потому что тепло идёт через стенку и ребро без испарения.

Размер испарительного аппарата задают два числа:

- **зона охлаждения, перепад (range)** — на сколько градирня остужает воду, например с 35 до 28 °C, это 7 K;

- **недоохлаждение до мокрого термометра (approach)** — насколько вода на выходе теплее мокрого термометра. Чем меньше approach, тем больше аппарат.

Расчётный мокрый термометр берут для города объекта по СП 131.13330.2025 «Строительная климатология». В примерах этого раздела — 22 °С (ориентир для Москвы) и сухой термометр 30 °С.

ВНИМАНИЕ

Approach меньше 2,8 К никто не подтвердит. CTI (Cooling Technology Institute) сертифицирует тепловые характеристики градирен и закрытых градирен при мокром термометре 10–32,2 °С, approach не меньше 2,8 К, перепаде не меньше 2,2 К и температуре жидкости не выше 51,7 °С; для испарительных конденсаторов — при температуре конденсации не выше 43,3 °С (ответы CTI по STD-201, ред. 6, 2022). Точку вне этих рамок производитель считает сам и сам за неё отвечает.

1.2. Открытая градирня

Вода из технологии подаётся на форсунки, стекает по оросителю (fill, насадка), навстречу или поперёк идёт воздух, часть воды испаряется. На испарение килограмма воды уходит много тепла, поэтому открытая градирня даёт самую холодную воду при самом компактном аппарате и небольших вентиляторах.

Цена этого — три вещи, которые надо заложить в проект с первого дня.

Вода уходит в атмосферу. Испарение по ASHRAE (HVAC Systems and Equipment 2024, гл. 40) — около 1 % расхода на каждые 7 К перепада; для расчёта летнего максимума производители градирен дают 0,18 % расхода на 1 К. К испарению добавляется продувка (blowdown): часть воды сливают, чтобы соли не копились. Подпитка (makeup) возмещает и то, и другое.

Грязь из воздуха оседает в воде. Через градирню проходят сотни тысяч кубометров воздуха в час, пыль, пух и пыльца смываются в поддон и дальше в теплообменники технологии. Нужны фильтрация и химводоподготовка.

Аэрозоль. СанПиН 3.3686-21 (глава XLII) относит системы охлаждения промышленных предприятий — градирни и испарительные конденсаторы — к потенциально опасным по легионеллёзу. Каплеуловитель снижает унос (drift) до тысячных долей процента: ASHRAE даёт 0,001–0,005 % расхода. Ноль не даёт никто.

Расчёт: сколько воды тратит открытая градирня. Расход 1000 м³/ч, 35 → 28 °С, три цикла упаривания (cycles of concentration).

Таблица 1 Открытая градирня

Шаг	Формула	Результат
Тепловая нагрузка	$Q = G \times \Delta t \times 1,163 = 1000 \times 7 \times 1,163$	8141 кВт
Испарение, летний максимум	$E = G \times \Delta t \times 0,0018 = 1000 \times 7 \times 0,0018$	12,6 м³/ч
Продувка	$B = E / (N - 1) = 12,6 / 2$	6,3 м³/ч
Подпитка	$M = E + B$ (унос пренебрежимо мал)	18,9 м³/ч

Это верхняя оценка: 0,18 % на 1 К — летний максимум, в межсезонье испарение меньше. Годовое водопотребление считают посезонно.

1.3. Открытая градирня с промежуточным теплообменником

Частое предложение: «поставим открытую, после неё пластинчатый теплообменник — и технология получит чистую воду». Это работает, но вы получаете три узла (градирню, теплообменник, вторую насосную) и два контура — грязный и чистый.

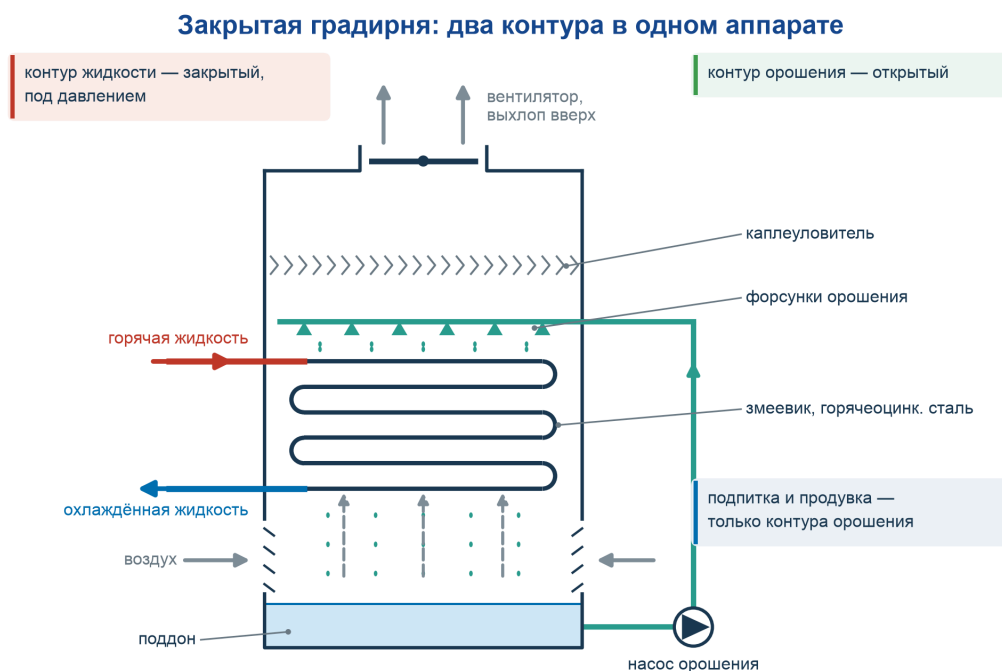
- **Температура хуже на 2–4 К.** Теплообменнику нужна разница температур. Если открытая градирня даёт 28 °С, технология получит 30–32 °С.
- **Теплообменник зарастает.** Вся грязь открытого контура оседает в пластинах, их надо разбирать и мыть.
- **Остаются все проблемы открытой градирни:** вода, продувка, водоподготовка, аэрозоль, зима.

Честно лучше закрытой эта связка в трёх случаях: очень большие расходы; открытая градирня уже стоит и нужно отделить новый чистый потребитель; агрессивная технологическая жидкость, для которой теплообменник из титана или специальной нержавеющей стали проще сделать пластинчатым.

1.4. Закрытая градирня

Технологическая вода или гликоль идёт внутри змеевика (coil). Снаружи змеевик поливает своя вода орошения из поддона, её гоняет небольшой насос орошения. Вентилятор продувает воздух, вода орошения испаряется с поверхности труб и охлаждает жидкость внутри. По сути это связка «открытая градирня + теплообменник» в одном корпусе, только без промежуточного контура и второй насосной.

Рисунок 2 Закрытая градирня: закрытый контур жидкости под давлением и открытый контур орошения в одном аппарате



Что даёт закрытая градирня:

- **чистый контур** — воздух не касается технологической жидкости;

- **можно гликоль** — внутренний контур заправляют незамерзающей жидкостью и спокойно работают зимой;
- **сухой режим** — зимой при малой нагрузке орошение выключают и охлаждают жидкость только воздухом;
- **один узел вместо трёх** — меньше площади и стыков.

Что остаётся:

- **approach больше, чем у открытой.** Жидкость в трубах теплее плёнки снаружи, плёнка теплее мокрого термометра; стенка змеевика — лишнее звено;
- **вода орошения испаряется** так же, как в открытой градирне. Её подпитывают, продувают и обрабатывают;
- **накись на змеевике — прямая потеря мощности.** Слой солей снаружи труб работает как шуба, а чистить змеевик сложнее, чем ороситель.

ВНИМАНИЕ

Закрытая — не значит без воды и без химии. Горячеоцинкованный змеевик без пассивации покрывается белой ржавчиной (white rust), а соли с испаряющейся воды садятся на трубы. Водоподготовка контура орошения обязательна.

Приёмочные испытания закрытой градирни ведут по СТИ АТС-105S: меряют расход и температуры технологической жидкости в змеевике, а не воды в поддоне. Для испарительного конденсатора — АТС-106.

1.5. Сухая градирня (драйкулер) и гибридные решения

Драйкулер, сухой охладитель (dry cooler) — оребрённый теплообменник с вентиляторами. Жидкость, почти всегда гликоль, идёт по трубкам, воздух обдувает, тепло уходит нагревом воздуха. Воды нет совсем: ни подпитки, ни продувки, ни химии, ни аэрозоля.

Расплата — температура. Экономически оправданный драйкулер выдаёт жидкость на 5,6–11 К теплее наружного воздуха; ближе, на 2,8–5,6 К, — только с сильно увеличенным теплообменником (Cooling Best Practices, «Evaluating Process Cooling Supply Temperatures»). При +30 °С на улице это 36–41 °С на выходе, а открытая градирня в тот же день даст 26–28 °С. Второе — площадь и энергия вентиляторов: без испарения приходится гнать больше воздуха через большую поверхность.

Наши драйкулеры DC начинаются от 300 кВт. По каталогу их применяют, когда теплоноситель достаточно охладить до температуры на 3–5 °С и более выше наружной, когда теплоноситель — раствор гликоля, когда контакт с воздухом недопустим и когда на площадке нет воды на подпитку.

Гибридные решения совмещают мокрый и сухой режим в одном аппарате. В нашей линейке это два варианта.

- **Закрытая градирня с сухим режимом.** Летом работает мокрой, зимой орошение выключают. Без доработок закрытая градирня уходит в сухой режим при –15...–25 °С. С оребрённым змеевиком (е-серии, раздел 2) — по каталогу без орошения с 0 °С. Дополнительный оребрённый теплообменник-сухопарник понижает порог перехода в сухой режим и снижает видимое парение.

- **Адиабатический драйкулер (adiabatic cooler).** Большую часть года работает сухим, в жару воздух перед теплообменником увлажняют через смоченные панели или распылением. Воду тратит только в пиковые часы, температура получается между мокрым и сухим термометром, точную даёт подбор. Вода для увлажнения должна быть подготовлена, иначе соли сядут на панели и ребро; распыл — тоже аэрозоль.

ПРИМЕЧАНИЕ

Сухой режим — сезонный, а не способ регулирования. Включать и выключать насос орошения для подстройки мощности нельзя: мощность скачет, а попеременное смачивание и высыхание змеевика даёт накипь. Мощность ведут вентиляторами. В мороз при сухом режиме поддон опорожняют: стоящая вода замёрзнет даже с ТЭНами.

Расчёт: при какой температуре закрытая градирня уходит в сухой режим. В сухом режиме движущая сила — сухой термометр. Упрощённо: $t_{\text{перекл}} = t_{\text{ж.ср}} - Q_{\text{нагр}} / UA_{\text{сух}}$, где $UA_{\text{сух}}$ — произведение коэффициента теплопередачи на площадь в сухом режиме (даёт производитель).

Пример: жидкость 35 → 28 °С, средняя 31,5 °С; летняя нагрузка 8150 кВт; $UA_{\text{сух}}$ условно 200 кВт/К (учебная цифра, не паспорт).

Таблица 2 Сухая градирня (драйкулер) и гибридные решения

Доля летней нагрузки	Нагрузка, кВт	$t_{\text{переключения}}, ^\circ\text{C}$
30 %	2445	19,3
50 %	4075	11,1
70 %	5705	3,0
100 %	8150	-9,3

Вывод для проекта: сухой режим — функция нагрузки. Если зимой производство работает на 50 %, аппарат переходит на сухой режим уже при +11 °С; если на 100 % — только в мороз ниже -9 °С. Поэтому в опросном листе нужна нагрузка по сезонам, а не только летняя точка. Точную кривую даёт программа подбора.

1.6. Граница с чиллером и свободным охлаждением

Градирня охлаждает воду до температуры чуть выше мокрого термометра — по нашим каталогам до +23...+24 °С летом. Если технологии или системе кондиционирования нужна вода 7/12 °С, это работа чиллера, а градирня в такой схеме снимает тепло с его конденсатора.

ВНИМАНИЕ

На градирню идёт не холод чиллера, а тепло конденсации. $Q_k = Q_{\text{холода}} + \text{мощность компрессоров}$, или $Q_k = Q_o \times (1 + 1 / \text{COP})$. При холодильном коэффициенте (COP) 4,5 тепло конденсации больше холода на 22 %, при COP 3,2 — на 31 %. Пример: чиллер 1000 кВт холода с компрессорами 200 кВт — на градирню 1200 кВт. Подбор «по холоду» даёт аппарат меньше нужного на 15–25 %.

Свободное охлаждение, фрикулинг (free cooling) — охлаждение без компрессора, когда на улице достаточно холодно. Здесь граница между аппаратами проходит так:

- **драйкулер** — самый естественный аппарат для фрикулинга: зимой гликоль легко охлаждается наружным воздухом, чиллер выключают. Летом драйкулер проигрывает градирне по

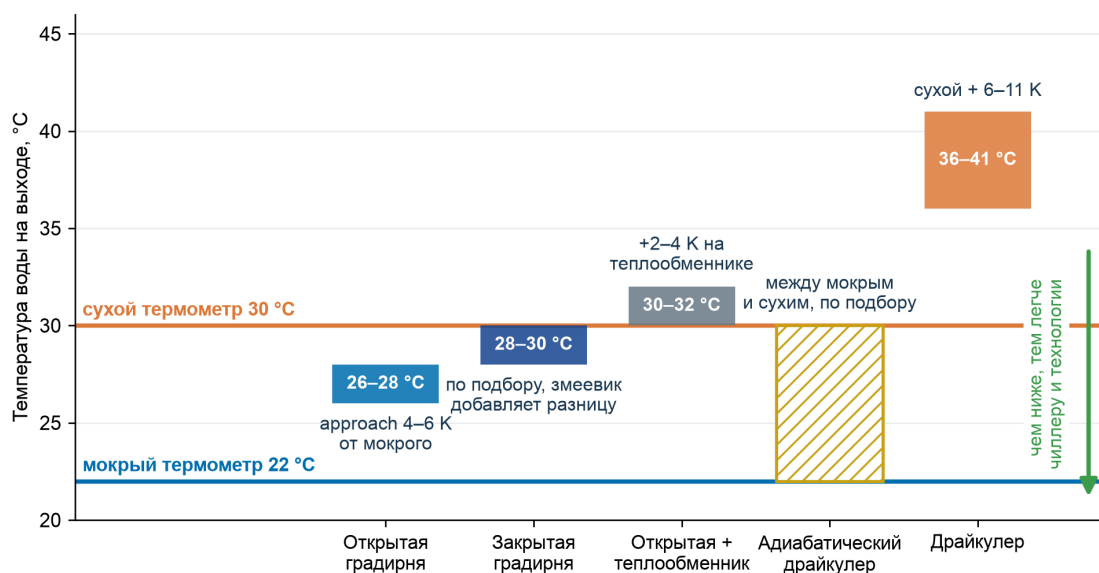
температуре;

- **закрытая градирня** в сухом режиме тоже работает как фрикулер и при этом летом даёт температуру испарительного аппарата. Порог перехода — по расчёту выше;
- **открытая градирня** в режиме свободного охлаждения по руководству TR-015 «Эксплуатация градирен в холодном климате» работает на максимальном расходе с уставкой холодной воды +7,2 °C и выше. Снижать расход и увеличивать перепад ради более холодной воды нельзя: кромка воздухозабора обмерзает. При перепаде 11 K и воде +4,4 °C кромка может быть 0 °C.

Выбор между «чиллер с воздушным конденсатором и встроенным фрикулингом» и «чиллер с водяным конденсатором + закрытая градирня с сухим режимом» решают по трём вопросам: температура воды летом, есть ли вода на подпитку, сколько часов в году на улице достаточно холодно при вашей зимней нагрузке. Порог из таблицы выше отвечает на третий вопрос.

Рисунок 3 Температурная лестница: какую воду даёт каждый аппарат в один и тот же летний день. Цифры иллюстративные, точные даёт подбор

Температурная лестница: один летний день, один климат



Цифры иллюстративные, точные даёт программа подбора; климат по СП 131.13330.2025

1.7. Таблица выбора

Таблица 3 Таблица выбора

Критерий	Открытая	Открытая + теплообменник	Закрытая	Драйкулер	Адиабатический драйкулер
Что охлаждает	Воду	Воду или гликоль через теплообменник	Воду или гликоль	Гликоль или воду	Гликоль или воду
Предел по воздуху	Мокрый термометр	Мокрый + 2–4 K на теплообменнике	Мокрый термометр	Сухой термометр	Между сухим и мокрым в жару
Вода в июле	Самая холодная	Теплее открытой на 2–4 K	Близко к открытой, по подбору	Самая тёплая: сухой + 5,6–11 K	Средняя

Критерий	Открытая	Открытая + теплообменник	Закрытая	Драйкулер	Адиабатический драйкулер
Качество воды в контуре	Грязная, контакт с воздухом	Чистая после теплообменника, теплообменник зарастает	Чистая	Чистая	Чистая
Вода на подпитку	Много: испарение + продувка	Столько же, сколько у открытой	Только на орошение; е-серии часть года без воды	Не нужна	Только в пиковые часы
Зима	Меры против обмерзания	Меры против обмерзания + защита теплообменника	Гликоль или сухой режим	Лучше всех, фрикулинг	Работает сухим
Площадь	Меньше всех	Больше: три узла	Мало	Много	Много
Электроэнергия	Низкая	Низкая + вторая насосная	Средняя + насос орошения	Высокая	Ниже драйкулера в жару
Водоподготовка	Обязательна	Обязательна	Обязательна для орошения	Не нужна	Нужна для воды увлажнения
Аэрозоль	Есть	Есть	Есть (орошение)	Нет	Возможен при распыле
Типичный объект	Металлургия, машиностроение, пищевые производства	Существующая открытая + новый чистый потребитель	Фарма, электроника, ЦОД, чиллеры торговых центров, АБХМ	ЦОД, объекты без воды	Безводные площадки с жарким летом

Идите по таблице сверху вниз: первые строки отсекают по физике, строки «Вода» и «Зима» — по площадке, «Качество воды» — по технологии.

Таблица 4 Когда вариант не подходит

Аппарат	Не применяйте, если	Что вместо
Открытая	Нет воды или права на водозабор	Драйкулер, адиабатика, чиллер
Открытая	Рядом жильё, жёсткие требования по уносу и парению	Закрытая градирня или драйкулер
Открытая	Технологии нужен чистый контур (фарма, электроника, стекло) или в контуре гликоль	Закрытая градирня
Открытая + теплообменник	Нужна температура, которая выходит только при arproach открытой	Закрытая градирня с подбором под точку
Открытая + теплообменник	Тесная площадка или некому регулярно мыть теплообменник	Закрытая градирня
Закрытая	В контуре хладагент	Испарительный конденсатор
Драйкулер	Технологии нужна вода холоднее, чем летний сухой термометр + 6–11 К	Испарительный аппарат или адиабатика с проверкой подбора
Адиабатика	Вода для увлажнения плохая, а подготовку делать не будут	Закрытая градирня или драйкулер

ПРИМЕЧАНИЕ

Высотная схема сама подсказывает закрытый контур. Если потребители стоят на 10–15 м выше открытой градирни, в обратной линии на градирню появляется разрежение: воздух в трубах, пульсации, риск перелива при отказе клапана противодавления. Правильные решения — закрытая градирня или разделительный теплообменник.

1.8. Испарительный конденсатор — родственник закрытой градирни

Испарительный конденсатор, ИК (evaporative condenser), внешне почти не отличается от закрытой градирни: тот же корпус, змеевик, орошение, поддон, вентилятор. У NCT общая конструктивная база. Разница в том, что течёт в змеевике: в ИК приходит горячий пар хладагента от компрессора, конденсируется на змеевике и уходит жидкостью в ресивер. Это ступень холодильного цикла, а не контур воды.

Правило выбора одно: если тепло отводится прямо от хладагента — аммиака, пропана, фреона, CO₂, — это ИК. Если у заказчика чиллер с водой или гликолем и эту воду надо охладить — это закрытая градирня.

Почему ИК выгоднее связки «водяной конденсатор + градирня»: один теплообмен (хладагент — воздух через испарение) вместо двух. Против воздушного конденсатора ИК держит температуру конденсации летом: воздушный вариант на 1 МВт по аммиаку занимает больше 100 м² и в жару теряет 10–18 % производительности, потому что температура конденсации уходит вверх на 5–8 °С.

Расчёт: на какую мощность подбирать ИК. Конденсатор отводит и тепло испарителя, и тепло компрессора: $Q_k = Q_o + N_k$. Пример: аммиачная установка, холод 800 кВт, компрессоры 220 кВт (учебная цифра) — тепло конденсации 800 + 220 = **1020 кВт**, отношение 1,28 — в разумных пределах для аммиачной установки средних температур. ИК подбирают на 1020 кВт тепла конденсации, а не на 800 кВт холода. В запросе всегда пишите, что стоит в номинале. Базовая точка каталога NCT — R717, температура конденсации 35 °С, мокрый термометр 22 °С. ИК NCT серий VRX, SVAX, VAX, HRX подбирают от 250 кВт; при меньшей мощности рассматривайте закрытую градирню с водяным конденсатором. Обязку ИК по хладагенту разбирает отдельное руководство серии — по испарительным конденсаторам.

Чек-лист раздела 1: тип аппарата выбран обоснованно

- ☐ Известно, что течёт в контуре: вода, гликоль (какой и какой концентрации) или хладагент.
- ☐ Расчётный мокрый и сухой термометр взяты для площадки по СП 131.13330.2025, а не «по региону».
- ☐ Требуемая температура воды летом сравнена с пределом аппарата: мокрый термометр + approach или сухой + 5,6–11 К.
- ☐ Подтверждено, что на площадке есть вода на подпитку и сброс продувки, или выбран аппарат без воды.
- ☐ Для чиллера и ИК нагрузка взята как тепло конденсации, а не холодопроизводительность.
- ☐ Для зимы выбран способ: гликоль, сухой режим, меры против обмерзания; нагрузка задана по сезонам.

Правило прохода: хотя бы один пункт пуст — тип аппарата выбран наугад, и подбор под него рано запрашивать.

2. Серии градирен NCT

Градири NCT производит «Энергия Холода» в Санкт-Петербурге. Модульные градири собираются на заводе и приходят на объект готовыми блоками; монтаж модульной градири на подготовленное основание занимает 1–2 дня. В программе подбора NCT Select больше 5000 типоразмеров, поэтому таблица ниже — карта линейки, а не каталог моделей. Рабочую модель под ваш режим мы подбираем бесплатно по опросному листу (раздел 3) и выдаём распечатку подбора.

Общие для линейки характеристики по каталогу:

- корпус из окрашенной горячеоцинкованной стали, болтовые соединения, возможна поставка из нержавеющей стали;
- 10 лет гарантии от сквозной коррозии, срок службы до 25 лет;
- плёночно-капельный ороситель из гофрированных ПВХ-листов, который снимается и промывается;
- каплеуловитель, в котором поток воздуха трижды меняет направление; капельный унос — 0,0005–0,002 % расхода циркуляционной воды;
- самоопорожняющиеся форсунки из полипропилена, не трескаются на морозе;
- перепад в одной градири — до 40 °C у открытых и до 60 °C у закрытых.

2.1. Как читать название серии

Первые буквы обозначают компоновку и вентилятор: **VR** — противоточная с центробежным вентилятором снизу, **VA** — противоточная с одним осевым вентилятором большого диаметра, **SVA** — компактная противоточная с несколькими малыми осевыми вентиляторами, **FX** — перекрёстно-точная, **HR** — низкая, с центробежным вентилятором сбоку. Буква **C** в конце — закрытая градири со змеевиком (VRC, VAC, SVAC, HRC). Приставка **e-** — закрытая градири с оребрённым змеевиком (e-VRC, e-VAC, e-SVAC, e-HRC). Строительные градири, которые собирают на объекте, — серии **SVA-X** и **VAB**.

2.2. Карта линейки

Таблица 5 Карта линейки

Серия	Тип	Расход и перепад по каталогу	Вентилятор и тяга	Где применять
VR (VR0–VR4)	Открытая, противоток	33–5000 м³/ч, модуль 30–500 м³/ч; охлаждает с 65 до 23 °C; перепад до 40 °C	Центробежные Ø800 мм внизу в сухом отсеке, 1–6 колёс; нагнетательная тяга	Средние и крупные предприятия, круглый год, ограничения по шуму и месту, установка вплотную к стене
VA	Открытая, противоток	250–10 000 м³/ч; с 55 до 23 °C; перепад до 22 °C	Один осевой Ø2000–3000 мм на секцию, ремённый привод, двигатель до 45 кВт вне влажного потока; вытяжная тяга, воздух с 4 сторон	Крупные предприятия, минимальное энергопотребление
SVA, мини (SVA-0 – SVA-12)	Открытая, противоток	5–1000 м³/ч, модуль 30 м³/ч; с 45 до 25 °C	Осевые Ø800–1200 мм, прямой привод; вытяжная тяга	Малые и средние расходы, мало места, SVA-1 со склада

Серия	Тип	Расход и перепад по каталогу	Вентилятор и тяга	Где применять
FX	Открытая, перекрёстный ток	Перепад до 20 °С и выше	Один осевой до Ø3200 мм на секцию, двигатель до 90 кВт вне потока; вытяжная тяга, воздух с 2 сторон	Малая высота, дефицит площади, минимальное энергопотребление
HR	Открытая, противоток	Секция 33–200 м³/ч; с 60 до 25 °С; перепад до 40 °С	Центробежный Ø800 мм сбоку, до 4 в градирне; нагнетательная тяга	Ограничения по высоте и шуму, установка в помещении, коммерческая недвижимость
SVA-X, VAB (строительные)	Открытая, секционная, сборка на объекте	От 500 м³/ч; пример: секция 4000 м³/ч	Осевой большого диаметра, прямой или редукторный привод, реверс	Крупные расходы, вода низкого качества, есть место под стройку
VRC (VRC0–VRC4)	Закрытая	33–5000 м³/ч; с 80 до 25 °С; перепад до 60 °С	Центробежные Ø800 мм внизу; нагнетательная тяга	Гликоль, чистый контур, средние и крупные предприятия, шум
SVAC (SVAC0–SVAC12)	Закрытая	Небольшие расходы; перепад до 60 °С	Осевые Ø800–1200 мм, прямой привод; вытяжная тяга	Малые расходы, низкое энергопотребление, простое обслуживание
VAC	Закрытая	Перепад до 40 °С	Один осевой большого диаметра на секцию; вытяжная тяга	Крупные объекты, энергоэффективность
HRC	Закрытая	С 85 до 25 °С; перепад до 60 °С	Центробежные Ø800 мм снизу, 1–4; нагнетательная тяга	Малая высота, большой перепад
e-VRC	Закрытая, оребрённый змеевик	33–5000 м³/ч, модуль 30–500 м³/ч; с 85 °С; перепад до 60 °С	Как у VRC	Как VRC + сухой режим с 0 °С
e-SVAC	Закрытая, оребрённый змеевик	Перепад до 40 °С и больше	Осевые Ø800–1200 мм; вытяжная тяга	Как SVAC + сухой режим
e-VAC	Закрытая, оребрённый змеевик	Перепад до 22 °С и больше	Один осевой на секцию; вытяжная тяга	Крупные объекты + сухой режим
e-HRC	Закрытая, оребрённый змеевик	С 85 до 25 °С; перепад до 60 °С	Центробежные, 1–4; нагнетательная тяга	Малая высота + сухой режим

Диапазоны — по каталогам и техническим описаниям NCT 2026 года. Где расход в каталоге не указан, его даёт подбор. Предел охлаждения у всех серий один — мокрый термометр площадки плюс approach; каталоги указывают охлаждение до +23...+24 °С летом.

ПРИМЕЧАНИЕ

Нагнетательная или вытяжная тяга. У серий с центробежным вентилятором внизу (VR, VRC, HR, HRC) вентилятор и двигатель стоят в сухом отсеке в потоке наружного воздуха. Колесо не обмерзает, двигатель не требует подогрева обмоток, обслуживают его прямо с площадки. Высокий напор центробежного вентилятора позволяет ставить до 8 слоёв оросителя — отсюда большой перепад в одной градирне. У серий с осевым вентилятором сверху (VA, SVA, FX, VAC, SVAC) ниже энергопотребление: большое колесо вращается медленно.

Рисунок 4 Открытые градирни NCT серии VR на кровле: центробежные вентиляторы в нижнем сухом отсеке



2.3. Открытые модульные градирни

VR — основная серия для промышленных предприятий. Линейка VR0–VR4 различается числом вентиляторов в модуле: VR0 — один модуль и один вентилятор, VR1 — два, VR2 — три и так далее; число модулей выбирают по мощности. Есть широкое и суперширокое исполнение для тесных площадок без потери производительности. Воздух забирается так, что градирню можно ставить вплотную к стене или «спина к спине». Встроенный поддон на несколько кубометров в ряде случаев позволяет обойтись без отдельного бака. Градирни VR работают зимой в Мурманске, Воркуте, Улан-Удэ, Северодвинске, Челябинске. Для непрерывных производств есть «холодный» и «горячий» резерв электродвигателя.

VA — один осевой вентилятор большого диаметра на секцию, ремённый привод, двигатель снаружи корпуса вне потока влажного воздуха. Лопасты регулируются на объекте, поэтому частотный привод не обязателен. Годовые затраты на электроэнергию у VA могут быть в разы ниже, чем у VR и SVA той же мощности. Серия для крупных расходов — от 250 м³/ч.

Рисунок 5 Открытая градирня NCT серии VA: осевой вентилятор большого диаметра сверху, воздухозаборные жалюзи по периметру



SVA (мини-градирни) — компактные модули с осевыми вентиляторами Ø800–1200 мм на прямом приводе: без редукторов и ремней, двигатель класса IP55. Один модуль — 30 м³/ч; для расхода до 30 м³/ч и небольшого перепада — SVA-0 и SVA-1, для большего — SVA-2...SVA-12. Несколько вентиляторов в градирне распределяют нагрузку: при отказе одного остальные продолжают работать. SVA-1 держим на складе, отгрузка через 1–2 дня после заказа, если параметры укладываются в типовые. При установке вплотную к стене одно из четырёх воздухозаборных окон перекрывается — это учитывают в подборе.

FX — перекрёстноточная градирня: вода стекает вертикально, воздух идёт горизонтально, забор с двух сторон. Скорость воздуха во фронтальном сечении ниже, двигатели меньше. Гравитационное водораспределение позволяет менять производительность на десятки процентов заменой форсунок в верхних бассейнах. Серия для площадок, где мало высоты и площади, а энергопотребление должно быть минимальным.

HR — низкая градирня с центробежным вентилятором сбоку и шумоизоляцией вентилятора и двигателя панелями. Применяют, где ограничены высота и ширина, нужен низкий уровень шума или установка в помещении; часто — в коммерческой недвижимости.

2.4. Строительные градирни SVA-X и VAB

Строительные (секционные) градирни поставляют частями и собирают на объекте. Это решение для расходов от 500 м³/ч, для воды низкого качества и для площадок, где есть место под стройку. Каркас — оцинкованная сталь, нержавеющая сталь (для воды с pH ниже 6 или выше 8) или стеклопластик FRP для зон повышенной коррозионной опасности. Оросители — капельные для грязной воды и плёночные для высокой эффективности. Против обледенения — реверс вентилятора и обогрев проблемных зон.

Масштаб виден по примеру из технического предложения: секция на 4000 м³/ч, осевой вентилятор диаметром 8,53 м на 160 об/мин, двигатель 160 кВт, габарит 32 × 16 м, высота 12,15 м. Окончательную охлаждающую способность строительной градирни подтверждают после выхода на режим. Стандартная гарантия на строительные градирни — 24 месяца с даты поставки.

2.5. Закрытые градирни

Закрытые градирни охлаждают воду, гликоль, пропиленгликоль, другие жидкости и растворы и изолируют их от загрязнений и осадков. Компоновки повторяют открытые серии: **VRC** — центробежный вентилятор снизу (VRC0–VRC4), **SVAC** — несколько осевых вентиляторов (SVAC0–SVAC12), **VAC** — один большой осевой вентилятор на секцию, **HRC** — низкая градирня с центробежными вентиляторами. Теплообменный змеевик — из горячеоцинкованной стали; на е-VRC по запросу корпус и теплообменник из нержавеющей стали.

У VRC и HRC в градирне может стоять несколько вентиляторов: при выходе из строя одного двигателя остальные продолжают работать. Сухой режим без орошения у гладкого змеевика возможен в морозы; чтобы перейти на него раньше, ставят сухопарник или выбирают е-серию.

2.6. е-серии: оребрѐнный змеевик и сухой режим

Буква «е» в названии — оребрѐнный теплообменник: рѐбра на трубах увеличивают площадь теплопередачи и интенсифицируют теплообмен. Что это даёт по каталогу:

- меньше масса и габарит градирни при тех же параметрах;
- меньше мощность двигателя вентилятора;
- работа без орошения начиная с 0 °С: меньше подпитки, меньше работы насоса орошения, проще схема круглогодичного орошения;
- нет парения в холодный период, потому что нет орошения.

Насос орошения у е-серии желательно ставить в тёплом помещении вместе с баком-накопителем. Летом е-серия работает мокрой и тратит столько же воды, сколько обычная закрытая градирня: экономия — в межсезонье и зимой (расчёт порога — раздел 1.5).

Рисунок 6 Закрытая градирня NCT с оребрённым змеевиком на заводе перед отгрузкой: патрубки змеевика и насос орошения



2.7. Опции

Таблица 6 Опции градирен NCT

Опция	Для каких серий	Что даёт проекту
Сухопарник — дополнительный оребрённый теплообменник	VR, VA, VRC, SVAC, e-VRC, IK VRX	Снижает видимое парение; у закрытых — работа без орошения в холодный период и более высокий порог перехода в сухой режим; меньше подпитки при круглогодичной работе
Оребрённый змеевик (е-серии)	Закрытые	Сухой режим с 0 °С, меньше габарит и мощность вентилятора
ТЭН в поддоне с датчиком уровня	Все градирни NCT	Держит воду в поддоне положительной, пока градирня стоит; включается при воде в поддоне ниже 5 °С; во время работы и при сливе не нужен
Выносной поддон в тёплом помещении	Градирни и конденсаторы NCT	Вся вода при остановке стекает в бак в помещении: зимой не нужны ТЭНы и нет риска замерзания
Зимний пакет	VRC, VRX и др.	Комплект мер для работы в мороз
Установка в помещении	Все, кроме строительных SVA-X	Для Крайнего Севера и сурового климата
Установка вплотную к стене или «спина к спине»	VR, VA, SVA, VRC, SVAC, e-VRC	Экономия площади
Шумоизоляция, шумовые экраны, шумоглушители	Большинство серий	Под требования по шуму
Гибридное покрытие корпуса изнутри	Испарительные аппараты	Работа при более высоких циклах концентрации: до 33 % экономии воды и химикатов; допускает те же циклы концентрации, что и нержавеющая сталь

Опция	Для каких серий	Что даёт проекту
Полимерное покрытие NCT Armour	По запросу	Для агрессивных сред
Корпус и змеевик из нержавеющей стали	e-VRC и др. по запросу	Агрессивная вода и среда, озонирование
Резерв электродвигателя («холодный» и «горячий»)	VR и др.	Непрерывные производства
Двигатель на два типоразмера больше	Серии с ремённым приводом	Запас при дополнительных сопротивлениях (шумоглушители, сухопарник)
Встроенная подпитка: поплавковый клапан или датчик уровня с соленоидным клапаном	Все	Автоматическая подпитка прямо в поддон
Площадки обслуживания и лестницы	Все	Безопасный доступ к водораспределению и каплеуловителям
NCT-Protect — антикоррозионное покрытие теплообменников распылением	Драйкулеры, конденсаторы, микроканальные теплообменники	Городская и приморская среда, нефтепереработка, химия; соляной туман по ASTM B117 — более 10 000 ч

Пределы качества циркулирующей воды по материалу (листовка NCT о гибридном покрытии):

Таблица 7 Материал корпуса: сравнение

Показатель	Оцинкованная сталь	Гибридное покрытие	Нержавеющая сталь 304L
pH	6,5–9,0	6,5–9,2	6,5–9,2
pH при начальной пассивации горячеоцинкованного змеевика	ниже 8,2	ниже 8,2	ниже 8,2
Общая жёсткость по CaCO ₃ , мг/л	70–600	50–750	50–750
Общая щёлочность по CaCO ₃ , мг/л, не более	500	600	600
Растворённые вещества, мг/л, не более	1500	2050	2050
Хлориды, мг/л, не более	250	300	300
Сульфаты, мг/л, не более	250	350	350
Электропроводность, мкСм/см, не более	2400	3300	3300
Взвешенные вещества, мг/л, не более	25	25	25
Свободный хлор постоянно, мг/л, не более	1	1,5	1,5

При водоподготовке озонированием требуется исполнение из нержавеющей стали. Водный режим и химводоподготовка подробно — в разделе о качестве воды.

2.8. Что ещё входит в контур

Градирия — только часть контура. Под один проект мы поставляем и сопутствующее оборудование NCT:

- **насосные группы PU** — расход от 15 до 1560 м³/ч и более, напор от 10 до 100 м вод. ст., каждая станция проходит испытания;

- **химводоподготовку W2C** — электронная система контроля качества оборотной воды по электропроводности;
- **щиты управления** на базе ПЛК, в том числе с частотным регулированием вентиляторов, и систему онлайн-мониторинга водооборотного цикла;
- **драйкулеры DC** от 300 кВт — горизонтальные, вертикальные и V-образные;
- **чиллеры NCT** и холодильные станции в блочно-контейнерном исполнении, когда отдельное машинное отделение строить невыгодно.

ПРИМЕЧАНИЕ

Подбор — бесплатно и по вашему режиму. Пришлите заполненный опросный лист (раздел 3): расход, температуры, среду и концентрацию гликоля, мокрый термометр площадки, режимы по сезонам, ограничения по месту и шуму. Мы вернём распечатку подбора NCT Select с моделью и техническими данными на ваш режим, включая подпиточный расход и массу самой тяжёлой секции. Холодопроизводительность и параметры из подбора фиксируем в договоре.

Чек-лист раздела 2: серия выбрана под задачу

- ☐ Тип (открытая, закрытая, е-серия, ИК) выбран по разделу 1, а не по названию в старом проекте.
- ☐ Расход укладывается в диапазон серии, а перепад — в предел одной градирни; если нет — заложено несколько модулей.
- ☐ Учтены ограничения площадки: высота (HR, FX), площадь (VR с широким исполнением, FX), шум, установка у стены или в помещении.
- ☐ Для зимы выбраны опции: ТЭН, выносной поддон, зимний пакет, сухопарник или е-серия.
- ☐ Материал корпуса и змеевика сверен с качеством воды по таблице пределов.
- ☐ Отправлен опросный лист и получена распечатка подбора на ваш режим.

Правило прохода: нет распечатки подбора на ваш режим — серия в проекте указана условно.

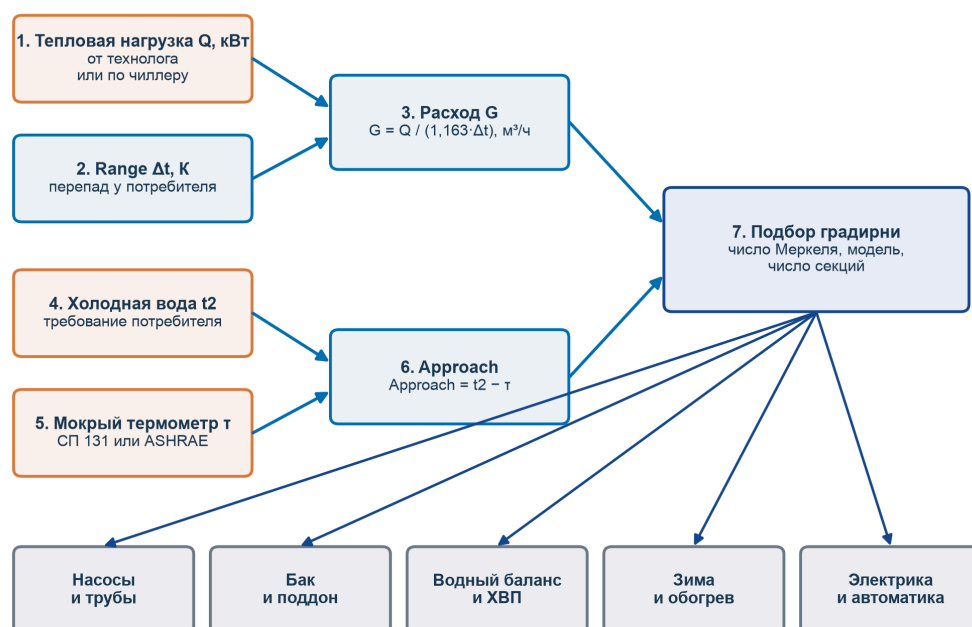
3. Исходные данные

Градирню подбирают один раз, а работает она с теми исходными данными, которые записали в первый день. Ошибка в температуре мокрого термометра на один градус проходит через весь проект и всплывает на приёмке, когда менять уже поздно. Этот раздел — о том, какие числа нужны до подбора, откуда их брать и как проверить.

3.1. Цепочка исходных данных

Проект контура градирни держится на короткой цепочке. Тепловая нагрузка вместе с перепадом температур даёт расход. Температура холодной воды, которую требует потребитель, вместе с расчётной температурой мокрого термометра (wet-bulb temperature) даёт недоохлаждение до мокрого термометра (approach). Расход, перепад температур (range) и approach вместе задают размер градирни. Всё остальное — насосы, трубы, бак, водоподготовка, обогрев, электрика — считается уже от этих чисел.

Рисунок 7 Цепочка исходных данных: от нагрузки и климата к подбору градирни и смежным разделам



Ошибка в блоках 1, 4 или 5 проходит во все нижние блоки

Если в начале цепочки стоит неверное число, проект получается аккуратным и неправильным: в июльский день вода на выходе на два градуса теплее, чем нужно чиллеру, причину ищут в градирне, а она в опросном листе.

Поэтому исходные данные собирают сразу для всего контура: в опросном листе с первого выезда должны быть и отметки, и качество воды подпитки, и шумовые ограничения.

3.2. Тепловая нагрузка: откуда взять и как проверить

Тепловая нагрузка контура — тепло, которое градирня должна отдать воздуху. Считают её по воде:

$$Q = G \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t / 3600, \text{ кВт},$$

где G — расход, м³/ч; ρ — плотность, кг/м³; c — теплоёмкость, кДж/(кг·К); Δt — перепад, К. Для воды в диапазоне 20–45 °С произведение $\rho \cdot c / 3600$ равно 1,163 кВт·ч/(м³·К), и формула сокращается до рабочей: $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$. Для гликолевых растворов и воды выше 50 °С коэффициент 1,163 не годится: свойства берут для конкретной концентрации и температуры (раздел 4.6).

Откуда брать нагрузку. Источника два, и в проекте должны быть оба.

- **По потребителю.** Если градирня охлаждает конденсаторы чиллеров, нагрузка на неё равна холодопроизводительности плюс электрическая мощность компрессоров. Для чиллера на 1000 кВт холода с потребляемой мощностью 200 кВт это 1200 кВт, а не 1000. Теплоотдачу конденсатора в расчётной точке даёт производитель чиллера. Для абсорбционной машины к холоду прибавляют всё тепло греющего источника.
- **По технологии.** Если потребитель — технологический аппарат, нагрузку даёт технолог по тепловому балансу процесса.

Как проверить. Нагрузку «по воде» (расход × перепад) сверяют с нагрузкой «по потребителю». Расхождение больше 10 % — повод остановиться и выяснить, чьё число неверное. Чаще всего неверен расход: его взяли по паспорту насоса, а не по замеру.

Три вопроса, которые задают технологу всегда:

- **Пик или среднее?** Технолог часто называет среднюю нагрузку за смену. Градирню подбирают на пик, насосы — на расчётный расход, а годовой водный баланс считают по профилю нагрузки (раздел 3.5).
- **Одновременность.** Если к контуру подключено несколько потребителей, их пики редко совпадают. Коэффициент одновременности согласуют с технологом письменно, а не принимают «по опыту».
- **Набросы.** Плавильная печь или периодический реактор дают нагрузку ступенькой. Градирня отвечает на ступеньку с запаздыванием, и тут нужен объём воды — бак или поддон (раздел 4.4).

ВНИМАНИЕ

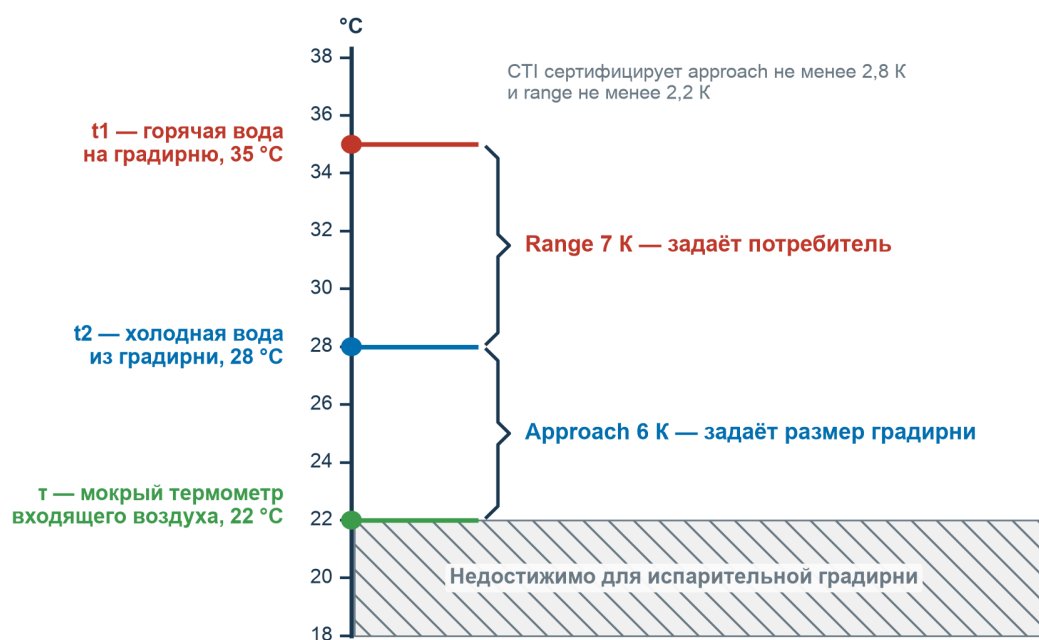
Запас закладывают один раз и в одном месте. Если технолог уже добавил 15 %, проектировщик ещё 10 %, а при подборе модель округлили вверх, заказчик получает градирню на треть больше нужной. Зимой такая градирня переохлаждает воду и обмерзает, летом её вентиляторы работают на частичной скорости. Запас записывайте в пояснительную записку отдельной строкой: кто его ввёл и на что.

3.3. Range и approach: почему они определяют размер градирни

Range — разница температур воды на входе в градирню и на выходе из неё. Он равен перепаду на потребителе, если между ними нет подмеса и байпаса. **Approach** — разница между температурой холодной воды и температурой мокрого термометра входящего воздуха. Холоднее мокрого термометра испарительная градирня воду не охладит никогда: это физический предел.

Пример, на котором построены расчёты раздела 4: вода приходит на градирню с температурой $t_1 = 35$ °С, уходит с $t_2 = 28$ °С, мокрый термометр $\tau = 22$ °С. $\text{Range} = 35 - 28 = 7$ К, $\text{approach} = 28 - 22 = 6$ К.

Рисунок 8 Range, approach и мокрый термометр на одной температурной шкале



Range задаёт потребитель: это его перепад. А approach — экономический выбор проектировщика и заказчика, и именно он сильнее всего влияет на размер градирни.

Как approach превращается в размер. Размер противоточной градирни описывают числом Меркеля (Merkel number) — требуемой характеристикой KaV/L . Подбор считает производитель, а проектировщику важно понимать, как она реагирует на approach.

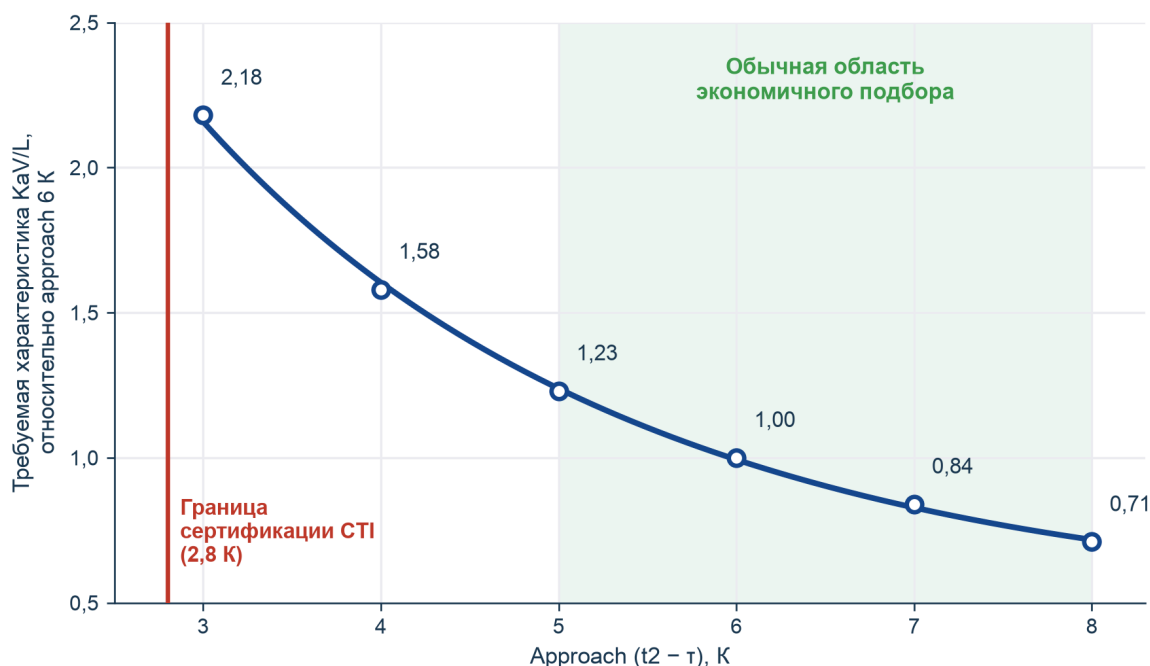
Расчёт для нашего примера ($1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, range 7 K, мокрый термометр 22 °C , соотношение расходов воды и воздуха $L/G = 1$, давление $101,3 \text{ кПа}$):

Таблица 8 Range и approach: почему они определяют размер градирни

Approach, K	t_2 , °C	Требуемое KaV/L	Относительно approach 6 K
3	25	2,21	×2,18
4	26	1,60	×1,58
5	27	1,25	×1,23
6	28	1,01	×1,00
7	29	0,85	×0,84
8	30	0,72	×0,71

Читать таблицу нужно так. Сдвиг approach с 6 до 4 K — это не «на два градуса лучше», а в 1,6 раза большая характеристика: больше насадки, больше воздуха, больше секций или всё сразу. Сдвиг до 3 K удваивает требования. Для range картина мягче: при той же холодной воде 28 °C range 10 K требует характеристики ×1,32, но и тепла снимается на 43 % больше.

Рисунок 9 Требуемая характеристика градирни растёт всё круче по мере уменьшения approach



Объект 1000 м³/ч, range 7 К, мокрый термометр 22 °С, L/G = 1

Таблица — иллюстрация чувствительности при постоянном L/G. Реальный подбор меняет и L/G, и число секций, поэтому градирня растёт не строго пропорционально числу Меркеля. Решение по проекту принимают по подбору производителя, а таблица показывает порядок цены вопроса.

Где граница разумного. Тепловую характеристику градирен сертифицирует Cooling Technology Institute (CTI) по стандарту STD-201RS. Пределы сертификации: мокрый термометр 10–32,2 °С, температура воды не выше 51,7 °С, range не меньше 2,2 К, approach не меньше 2,8 К. Если в задании стоит approach 2 К, это не «лучшая градирня», а точка вне сертифицированной зоны: подтвердить её может только сам производитель, и на приёмке спорить будет не с чем.

ПРИМЕЧАНИЕ

Каждый градус approach меняет не только градирню. Меньше approach — больше секций и вентиляторов, больше площадка, металлоконструкции, фундамент и кабели. Прежде чем записать в задание approach 3–4 К, покажите заказчику таблицу выше и спросите, что он потеряет при 27–28 °С на выходе.

3.4. Мокрый термометр: СП 131 и ASHRAE, какая обеспеченность

Российская норма. Климатические параметры берут по СП 131.13330.2025 «Строительная климатология» (введён 09.09.2025 вместо СП 131.13330.2020). Для контура градирни из него нужны две группы параметров:

- тёплый период: температура воздуха заданной обеспеченности и относительная влажность — из них получают мокрый термометр для летнего подбора;
- холодный период: температура наиболее холодной пятидневки и суток, абсолютный минимум, продолжительность периода с отрицательными температурами — для зимнего режима и защиты от замерзания.

Готового столбца «температура мокрого термометра» в своде нет. Её вычисляют психрометрическим расчётом или снимают с h - d -диаграммы: по температуре t и относительной влажности ϕ находят парциальное давление пара $p = \phi \cdot p''(t)$, влагосодержание $d = 0,622 \cdot p / (B - p)$ и энтальпию $h = 1,006 \cdot t + d \cdot (2501 + 1,86 \cdot t)$, кДж/кг. Мокрый термометр τ — температура, при которой энтальпия насыщенного воздуха равна h . Пример (цифры иллюстративные): $t = 29$ °С, $\phi = 55$ %, $B = 101,3$ кПа дают $h = 64,5$ кДж/кг и $\tau = 22,0$ °С.

Таблица 9 Мокрый термометр по температуре и влажности

Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Энтальпия, кДж/кг	Мокрый термометр, °С
26	60	58,4	20,3
28	50	58,4	20,3
29	55	64,5	22,0

Обратите внимание на первые две строки: 26 °С при 60 % и 28 °С при 50 % дают одинаковый мокрый термометр. Градирня «видит» энтальпию воздуха, а не его сухую температуру. Самый жаркий день по сухому термометру не обязательно самый тяжёлый для градирни. Для проверки порядка величины: для средней полосы России расчётный мокрый термометр составляет около +21...+23 °С.

ASHRAE. В справочнике ASHRAE Handbook — Fundamentals 2025 климатические данные собраны в главе 14 «Climatic Design Information». Для испарительного оборудования там есть отдельный блок — расчётный мокрый термометр с сопутствующей сухой температурой для уровней годовой обеспеченности 0,4 %, 1 % и 2 %. Это доля часов в году, когда мокрый термометр выше расчётного: 0,4 % — около 35 часов, 1 % — около 88 часов, 2 % — около 175 часов. Для экспертизы основа — СП 131.13330.2025, ASHRAE — проверка и аргумент при выборе обеспеченности.

Какую обеспеченность брать. Это решение проектировщика вместе с заказчиком, и его нужно записать. Чем выше обеспеченность, тем реже градирня выходит за расчётную точку и тем она больше.

- Технология, где перегрев воды на градус останавливает линию или даёт брак, ЦОД — самый жёсткий уровень: по ASHRAE 0,4 % или высшая обеспеченность по СП 131. И вопрос заказчику: что будет в эти 35 часов?
- Кондиционирование, где пару дней в году допустим подъём температуры конденсации, — 1 % или 2 %.
- Объект, у которого пик нагрузки не совпадает с летом (например, осенняя кампания сахарного завода), — расчётную точку берут для периода пика нагрузки, а не для июля.

В технических характеристиках градирен NCT, которые мы выдаём с подбором, мокрый термометр входящего воздуха указан вместе с обеспеченностью — по умолчанию 0,98. Если на объекте принята другая обеспеченность, укажите её в опросном листе.

Если климатические данные старые или метеостанция далеко, в мировой практике к мокрому термометру 0,4 % по ASHRAE добавляют около 0,6 K (Stanford University, HVAC Water Chillers and Cooling Towers). Рециркуляцию влажного воздуха (recirculation) учитывают отдельно, по компоновке площадки.

ВАЖНО

Не пишите в пояснительной записке «градирня подобрана по СП 31.13330.2021». Раздела об охлаждающих системах оборотного водоснабжения в этом своде нет, слово «градирня» в его тексте не встречается. Этот раздел был в СНиП 2.04.02-84. Прямой действующей нормы РФ на тепловой расчёт градирни сейчас нет. Пишите так: климатические параметры приняты по СП 131.13330.2025, тепловой расчёт выполнен производителем по методике, соответствующей CTI STD-201RS, расчётная точка такая-то.

Насколько чувствительна вода к погоде. Градирню, подобранную на $35 \rightarrow 28$ °С при мокром термометре 22 °С, прогнали при другой погоде; расход, range и сама градирня те же:

Таблица 10 Чувствительность холодной воды к мокрому термометру

Мокрый термометр, °С	Холодная вода, °С	Approach, К
18	25,4	7,4
20	26,7	6,7
22	28,0	6,0
23	28,7	5,7
24	29,4	5,4

Каждый градус мокрого термометра сверх расчётного добавляет около 0,7 К к холодной воде. Ошибка в выборе климата на 2 К — это 1,4 К на входе в конденсатор чиллера в самые жаркие часы. Если потребитель к этому чувствителен, ошибку не исправить ни насосом, ни автоматикой — только другой градирней.

3.5. Режимы: летний расчётный — только один из пяти

Проектировщик, который описал только летнюю расчётную точку, описал контур на 1–2 % времени года. Остальное время градирня работает в других условиях, и ошибки проекта проявляются именно там.

Рисунок 10 Годовой профиль: подбор делают по летней точке, а эксплуатация идёт при частичной нагрузке и зимой

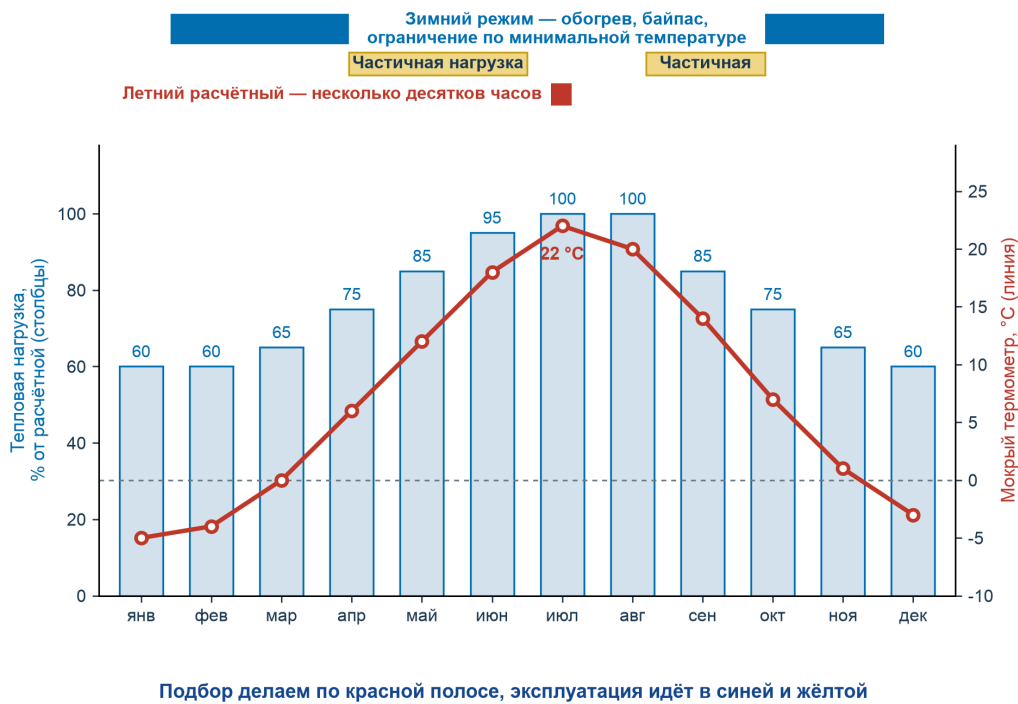


Таблица 11 Режимы: летний расчётный — только один из пяти

Режим	Что задаём	Что из этого следует
Летний расчётный	Пиковая нагрузка, расход, t1/t2, мокрый термометр расчётной обеспеченности	Подбор градирни, насосов, электрики
Частичная нагрузка летом	Нагрузка 30–70 %, число работающих потребителей	Число секций, ступени регулирования, частотные приводы
Зимний	Минимальная нагрузка, температура холодной пятидневки и абсолютный минимум по СП 131.13330.2025	Обогрев, байпас, выбор серии для работы зимой без обмерзания
Минимальная температура потребителя	Нижний предел воды для чиллера или технологии	Байпас и регулирование, чтобы не переохладить
Пуск и останов	Порядок пуска, температура в контуре при пуске, слив	Объём бака, объём стока при остановке (drain-down), защита от перелива

Два предела из практики производителей, которые стоит сразу внести в режимы и уточнить по выбранной модели: температура воды на выходе из открытой градирни — не ниже 5 °C; на входе в противоточную градирню с насадкой из ПВХ — до 55 °C, выше нужны другие материалы. Для частичной нагрузки спросите производителя, выдерживает ли распределение воды половинный расход: не все градирни нормально работают на 50 % расхода.

Профиль нагрузки нужен уже в исходных данных. Испарение для подпитки и продувки считают по летнему максимуму, а годовое водопотребление — по профилю. На контуре 1000 м³/ч годовая подпитка «по летнему максимуму на весь год» почти вдвое больше, чем посезонная (пример в разделе 4.2). От этого зависит, хватит ли лимита водоканала и не уйдёт ли проект без нужды на сухие охладители.

3.6. Опросный лист NCT: что заполнить до подбора

По опросному листу мы подбираем градирню бесплатно. Если в нём пусто в ключевых графах, подбор превращается в гадание, и лист возвращается с вопросами. Для проектировщика требование жёстче: всё, что в листе не заполнено, в проекте станет допущением, а допущение придётся обосновать перед экспертизой.

У NCT отдельные опросные листы на открытые и на закрытые градирни. Таблица данных для расчёта в обоих заполняется в двух столбцах — **летний режим** и **зимний режим**. Звёздочкой в листе помечены обязательные поля.

Таблица 12 Опросный лист NCT: что заполнить до подбора

№	Поле опросного листа	Открытая	Закрытая	Комментарий проектировщику
1	Тип хладоносителя	—	обязательно	Вода, этилен- или пропиленгликоль, концентрация и в чём она выражена. При круглогодичной работе рекомендуется незамерзающий хладоноситель
2	Расход воды (хладоносителя), м ³ /ч	обязательно	обязательно	Расчётный, а не паспорт насоса; для открытой — общий
3	Количество независимых секций	по желанию	—	Задаёт резерв и ступени регулирования
4	Температура на входе в градирню, °C	обязательно	обязательно	t1 — фиксированное число, не диапазон
5	Температура на выходе из градирни, °C	обязательно	обязательно	t2 — от неё считается approach
6	Расчётная температура воздуха по мокрому термометру, °C	обязательно	обязательно	С указанием обеспеченности (раздел 3.4); знак «?» в этой графе — главная причина возврата листа
7	Город / место установки	обязательно	обязательно	Нужен и для зимних параметров
8	Требуемый уровень шума на расстоянии 15 м, дБА	желательно	желательно	Без него не заложить шумоглушение
9	Гидравлическое сопротивление системы, м вод. ст.	желательно	желательно	Без него не проверить напор насоса и схему обвязки
10	Габариты площадки для размещения, м × м	желательно	желательно	Определяет число и компоновку секций
11	Высота размещения градирни относительно потребителей, м	желательно	желательно	Без отметок нельзя выбрать схему (см. ниже)
12	Особые требования	по ситуации	по ситуации	Взрывозащита, морской воздух, агрессивная среда, сейсмика, установка в помещении
Прил. 1	Химический состав охлаждаемой воды	желательно	желательно	pH, жёсткость, щёлочность, кальций, магний, натрий, сульфаты, хлориды, нитраты, электропроводность, взвешенные вещества
Прил. 2	Химический состав подпиточной воды	желательно	желательно	Те же 11 показателей; по ним считают допустимые циклы концентрирования (раздел 4.2)

Лист подписывает лицо, ответственное за исходные данные. Это не формальность: подпись фиксирует, на какую расчётную точку дана гарантия.

Во второй части листа отмечают опции. Решите их до подбора: зимний пакет, щит управления, система контроля качества воды (W0C, W2C, W3C), резервный двигатель, глушители, корпус из нержавеющей стали меняют массу, электрические нагрузки и схему обвязки.

Что лист не спрашивает, но проектировщику нужно. Опросный лист рассчитан на подбор оборудования. Для проекта контура добавьте:

- нагрузку по сезонам и минимальную нагрузку, а не только летнюю точку;
- минимально допустимую температуру воды у потребителя;
- источник подпитки и условия сброса продувки (технические условия водоканала);
- режим работы: круглогодично или сезонно, часов в сутки;
- доступную электрическую мощность, напряжение, категорию надёжности электроснабжения;
- отметки: рабочее зеркало воды, ось насосов, вход в распределение, самая высокая точка трассы, потребитель.

Из этих граф чаще всего пустуют отметки и минимальная температура потребителя. Без отметок нельзя выбрать схему: если потребитель на 10–15 м выше градирни, открытая схема с насосом из поддона даёт вакуум в верхней точке обратной линии и слив системы при остановке. Без минимальной температуры зимний режим проектируют наугад: градирня переохлаждает воду, и чиллер уходит в аварию по низкому давлению конденсации.

ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем. По заполненному опросному листу инженер NCT выдаёт подбор в программе NCT Select с расчётной точкой, массой в рабочем состоянии, установленной мощностью двигателей и диаметрами патрубков, а при необходимости выезжает на площадку и предлагает размещение и принципиальную схему обвязки.

3.7. Что будет, если ошибиться в данных

Таблица 13 Что будет, если ошибиться в данных

Ошибка в исходных данных	Чем оборачивается	Как правильно
Мокрый термометр «типовой для средней полосы», без города и обеспеченности	Летом вода на 1–2 К теплее расчётной, претензия к исправной градирне	т по СП 131.13330.2025 для города объекта, обеспеченность согласована письменно
Нагрузка по холодопроизводительности чиллеров	Градирня меньше нужной на мощность компрессоров	Теплоотдача конденсатора в расчётной точке от производителя чиллера
Approach 2 К «для надёжности»	Точка вне сертификации СТИ, градирня вдвое больше, спор на приёмке	Approach не меньше 2,8 К, решение по таблице чувствительности
Описан только летний режим	Зимой чиллер выбивает по низкому давлению, насосы работают на перелив	Пять режимов в опросном листе и записке
Нет отметок	Вакуум в обратной линии, слив системы при остановке, перелив поддона	Высотная схема с пятью отметками до подбора
Годовой расход воды по летнему испарению	Смета эксплуатации завышена почти вдвое, неверный выбор схемы	Для труб и клапанов — максимум, для года — посезонный расчёт

Чек-лист раздела 3: исходные данные собраны

- ☐ Нагрузка посчитана по $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$ и сверена с теплоотдачей конденсатора чиллера или с данными технолога; расхождение не больше 10 %.
- ☐ Есть пиковая и базовая нагрузка и график по сезонам; запас записан один раз, с указанием автора.
- ☐ Мокрый термометр вычислен по СП 131.13330.2025 для города объекта; обеспеченность согласована с заказчиком письменно.
- ☐ Расчётная точка в зоне сертификации CTI: approach не меньше 2,8 K, range не меньше 2,2 K, вода не горячее 51,7 °C.
- ☐ Описаны пять режимов: летний расчётный, частичная нагрузка, зимний, минимальная температура потребителя, пуск и останов.
- ☐ В опросном листе заполнены все поля со звёздочкой в обоих столбцах — летнем и зимнем.
- ☐ Есть отметки потребителей и площадки, гидравлическое сопротивление системы, требование по шуму и габариты площадки.
- ☐ Приложены анализы охлаждаемой и подпиточной воды; известны условия сброса продувки.
- ☐ Отмечены опции, которые меняют массу и электрические нагрузки: зимний пакет, щит управления, ХВП, резервный двигатель.
- ☐ Лист подписан лицом, ответственным за исходные данные.

Правило прохода: все поля со звёздочкой, мокрый термометр с обеспеченностью и отметки заполнены, а в остальных пунктах не больше одного пропуска с письменным объяснением; иначе запрос на подбор отправлять рано.

4. Расчёты с примерами

Формулы контура градирни простые. Ошибаются не в арифметике, а в том, какое число куда подставить: летний максимум или среднее за год, чистый фильтр или забитый, рабочий уровень или минимальный. Поэтому каждый расчёт ниже идёт по шагам с цифрами и с итогом.

Расчёты 4.1–4.4 сделаны на одном условном объекте: расход 1000 м³/ч, вода 35 → 28 °С, мокрый термометр 22 °С (точка не привязана к городу; для своего объекта берите её по разделу 3). Везде ниже 1 м³/ч воды на 1 К перепада несёт **1,163 кВт**.

4.1. Тепловая нагрузка и расход воды

Формулы: $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$, кВт; отсюда $G = Q / (1,163 \cdot \Delta t)$, м³/ч.

Пример 1 — нагрузка по расходу. Расход 1000 м³/ч, вода 35 → 28 °С.

1. Перепад $\Delta t = 35 - 28 = 7$ К. 2. $Q = 1,163 \cdot 1000 \cdot 7 = \mathbf{8141 \text{ кВт} \approx 8,1 \text{ МВт}}$.

Пример 2 — расход по нагрузке чиллера. Чиллер: холод 1000 кВт, потребляемая мощность компрессоров 200 кВт, перепад на конденсаторе 7 К.

1. Нагрузка на градирню = 1000 + 200 = 1200 кВт (не 1000). 2. $G = 1200 / (1,163 \cdot 7) = \mathbf{147 \text{ м}^3/\text{ч}}$. 3. Проверка: если бы нагрузку взяли по холоду, расход вышел бы 123 м³/ч — на 17 % меньше, и градирня и насосы были бы подобраны с недобором.

Таблица 14 Таблица для быстрой проверки

Расход, м ³ /ч	Нагрузка при range 5 К, кВт	При range 7 К, кВт	При range 10 К, кВт
250	1454	2035	2908
500	2908	4071	5815
1000	5815	8141	11 630
2000	11 630	16 282	23 260

4.2. Водный баланс: испарение, унос, продувка, подпитка

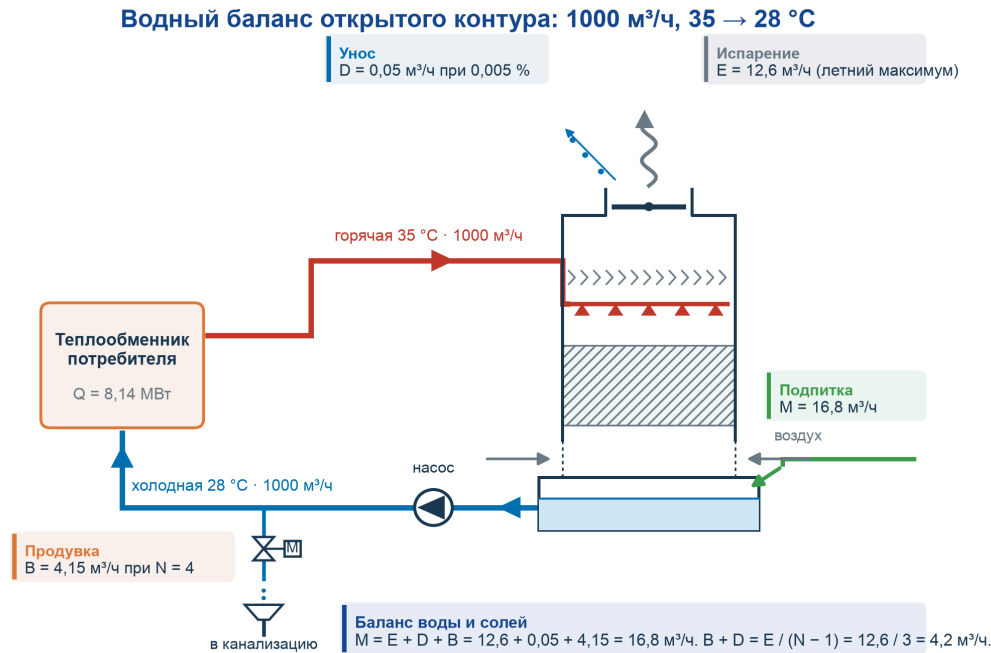
У открытой градирни четыре потока воды:

- **испарение** (evaporation, E) — главный и неустраняемый расход; через него уходит основная часть тепла, около 2,4 МДж на каждый килограмм испарённой воды;
- **капельный унос** (drift, D) — капли, которые воздух выносит через каплеуловитель; в них те же соли, реагенты и бактерии, что и в контуре;
- **продувка** (blowdown, B) — сброс части оборотной воды, которым держат солесодержание: в испарении солей нет, и без продувки контур упаривается до накипи;
- **подпитка** (makeup, M) — свежая вода, которая возмещает первые три потока.

Формулы. Баланс по воде: $M = E + D + B$. Соли уходят только с продувкой и уносом, поэтому $M \cdot C_{\text{подп}} = (B + D) \cdot C_{\text{конт}}$. Отношение концентраций $C_{\text{конт}} / C_{\text{подп}}$ называют циклами концентрирования (cycles of concentration, N). Из двух уравнений:

$$B + D = E / (N - 1), M = E \cdot N / (N - 1).$$

Рисунок 11 Четыре потока водного баланса открытой градирни на примере 1000 м³/ч



Шаг 1. Испарение. Испарение считают по перепаду: $E = k \cdot G \cdot \Delta t$. Коэффициент k зависит от задачи:

Таблица 15 Коэффициент испарения по разным источникам

Источник	k	Для примера 1000 м³/ч, 7 К	Для чего брать
ASHRAE HVAC Systems and Equipment 2024, гл. 40	около 1 % расхода на 7 К, $\approx 0,14 \text{ \%}/\text{К}$	9,8–10,0 м³/ч	оценка при типовых расчётных условиях
Данные производителей градирен (летний максимум)	0,18 %/К	12,6 м³/ч	максимум: подпитка, продувка, диаметры
СНиП 2.04.02-84, табл. 36 (исторически)	0,10–0,16 %/К по температуре воздуха	7,0–11,2 м³/ч	сезонная оценка

Проверка на физику: если бы всё тепло уходило испарением, $E = Q / r = 8141 / 2410 = 3,38 \text{ кг/с} = 12,2 \text{ м}^3/\text{ч}$. Летний максимум чуть больше — в жару часть тепла воде отдаёт сам воздух. Летнее испарение меньше 70 % от Q / r означает потерянную нагрузку или зимний коэффициент.

ВНИМАНИЕ

Два числа испарения в одном проекте — норма. Летний максимум (0,18 %/К) идёт в диаметры, клапан подпитки, клапан продувки и ХВП. Годовое (посезонный расчёт, у СТИ — методика АТС-174) — в технические условия водоканала и в экономику. Подпишите в записке, какое число где: экспертиза первым делом спросит, почему подпитка в балансе не совпадает с лимитом водопотребления.

Шаг 2. Унос. По ASHRAE исправные каплеуловители дают унос 0,001–0,005 % расхода. Для примера при 0,005 %: $D = 1000 \cdot 0,00005 = 0,05 \text{ м}^3/\text{ч}$ — 0,4 % от испарения. Заявленный унос стоит чего-то, только если измерен изокINETическим методом по СТИ АТС-140. В расчёт берите унос по паспорту выбранной градирни.

Старые каплеуловители дают 0,1–0,2 % расхода (СНиП 2.04.02-84, табл. 38); такой унос сам выводит соли и ограничивает циклы: $N_{\max} = 1 + E / D$.

Шаг 3. Допустимые циклы. Предел считают отдельно по каждому показателю подпитки и берут наименьший: $N_i = C_{\text{пред},i} / C_{\text{подп},i}$. Предел задаёт самый чувствительный материал контура — обычно теплообменник потребителя, оцинкованные трубы или конденсатор чиллера, а не градирня. Пример для контура с теплообменником из нержавеющей стали 304 (анализ подпитки условный; пределы — по отраслевой таблице требований производителей к оборотной воде):

Таблица 16 Допустимые циклы концентрирования по показателям

Показатель	Подпитка	Предел	N по показателю
Хлориды	45 мг/л	300 мг/л	6,67
Сульфаты	60 мг/л	350 мг/л	5,83
Хлориды + сульфаты	105 мг/л	650 мг/л	6,19
Общая жёсткость	180 мг/л CaCO ₃	750 мг/л	4,17
Щёлочность	150 мг/л CaCO ₃	600 мг/л	4,00
Электропроводность	450 мкСм/см	3300 мкСм/см	7,33

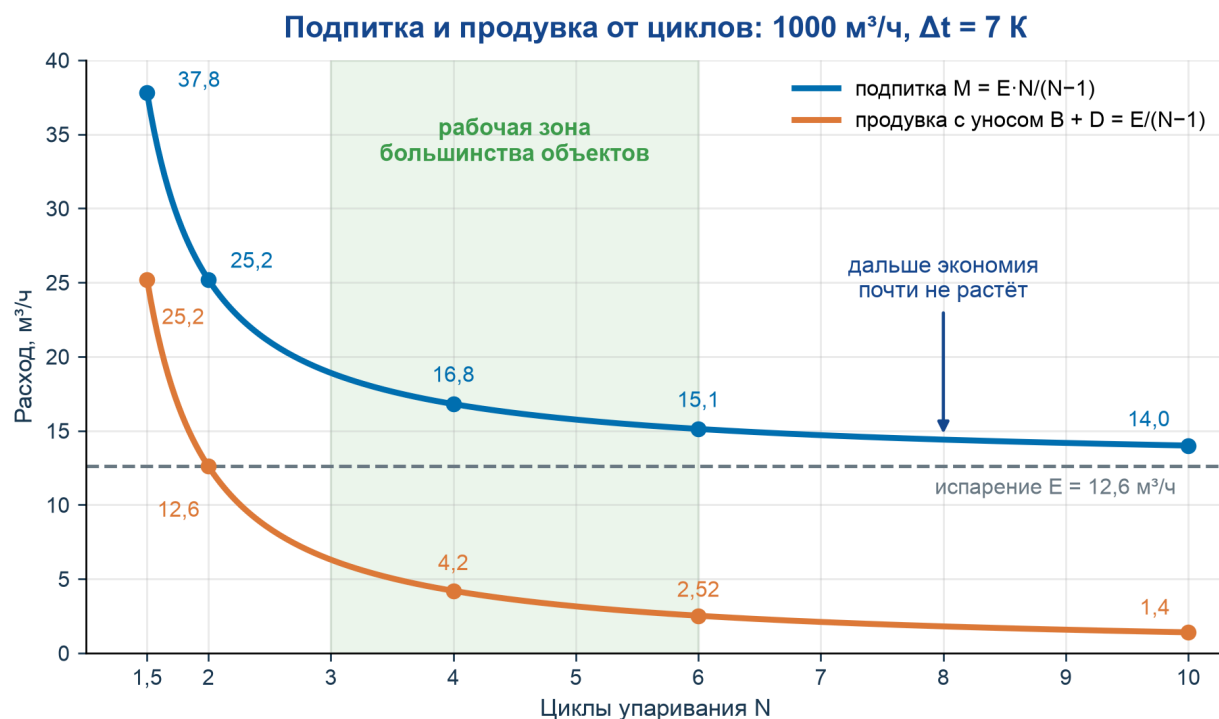
Наименьшее $N = 4,0$, ограничивает щёлочность. Рабочую уставку берут 3,5–4,0. Это пределы по коррозии; склонность к накипи при температуре горячей воды проверяет инженер водоподготовки, и при необходимости N снижают.

Шаг 4. Продувка и подпитка ($E = 12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $D = 0,05 \text{ м}^3/\text{ч}$, $N = 4$):

1. $B + D = 12,6 / (4 - 1) = 4,20 \text{ м}^3/\text{ч}$. 2. Регулируемая продувка через клапан $B = 4,20 - 0,05 = 4,15 \text{ м}^3/\text{ч}$. 3. Подпитка $M = 12,6 \cdot 4 / 3 = 16,8 \text{ м}^3/\text{ч}$. 4. Проверка по воде: $12,6 + 0,05 + 4,15 = 16,8 \text{ м}^3/\text{ч}$. По солям: с подпиткой входит $16,8 \cdot 45 = 756 \text{ г/ч}$ хлоридов, уходит $4,2 \cdot 180 = 756 \text{ г/ч}$. Сходится.

Как циклы меняют воду: при $N = 2$ подпитка $25,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, при $N = 3$ — $18,9$, при $N = 6$ — $15,1$, при $N = 10$ — $14,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; продувка падает с $12,6$ до $1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Рисунок 12 Подпитка и продувка в зависимости от циклов концентрирования: после шести циклов выигрыш мал



После 5–6 циклов кривая подпитки почти плоская: с 6 до 10 циклов подпитка падает всего на 1,1 м³/ч, а риск накипи и расход ингибитора растут. На жёсткой водопроводной воде без умягчения реальны 3–4 цикла; при хорошей подпитке и автоматической продувке по электропроводности — 5–6.

Шаг 5. Диаметры и уставки. Линию подпитки и клапан продувки считают на худший режим — принудительную продувку, когда циклы падают до двух, а на улице жара: $M = 12,6 \cdot 2 / 1 = 25,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $B = 12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для $25,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ при скорости 1,5 м/с внутренний диаметр $d = \sqrt{(4 \cdot 0,0070 / (\pi \cdot 1,5))} = 0,077 \text{ м}$, то есть **Ду80**. Давление подпитки у градирни — 100–500 кПа; выше нужен редуктор.

Продувку ведут по электропроводности (conductivity): уставка = электропроводность подпитки × N. Для примера $450 \cdot 4 = 1800 \text{ мкСм/см}$; клапан открывают на 1800 и закрывают на 1710 мкСм/см (гистерезис 5 % вниз от предела). На подпитке и продувке ставят расходомеры с выходом в автоматику: без них циклы не посчитать.

Шаг 6. Годовое водопотребление. Пример: 1000 м³/ч, N = 4, 8000 ч/год.

- По летнему максимуму на весь год: $12,6 \cdot 8000 = 100\,800 \text{ м}^3$ испарения, подпитка $134\,400 \text{ м}^3$.
- По профилю: 2200 ч лета при полной нагрузке ($k = 0,18 \text{ %/К}$) и 5800 ч при нагрузке 60 % ($k = 0,10 \text{ %/К}$). Испарение $12,6 \cdot 2200 + 4,2 \cdot 5800 = 27\,720 + 24\,360 = 52\,080 \text{ м}^3$, подпитка $69\,440 \text{ м}^3$.

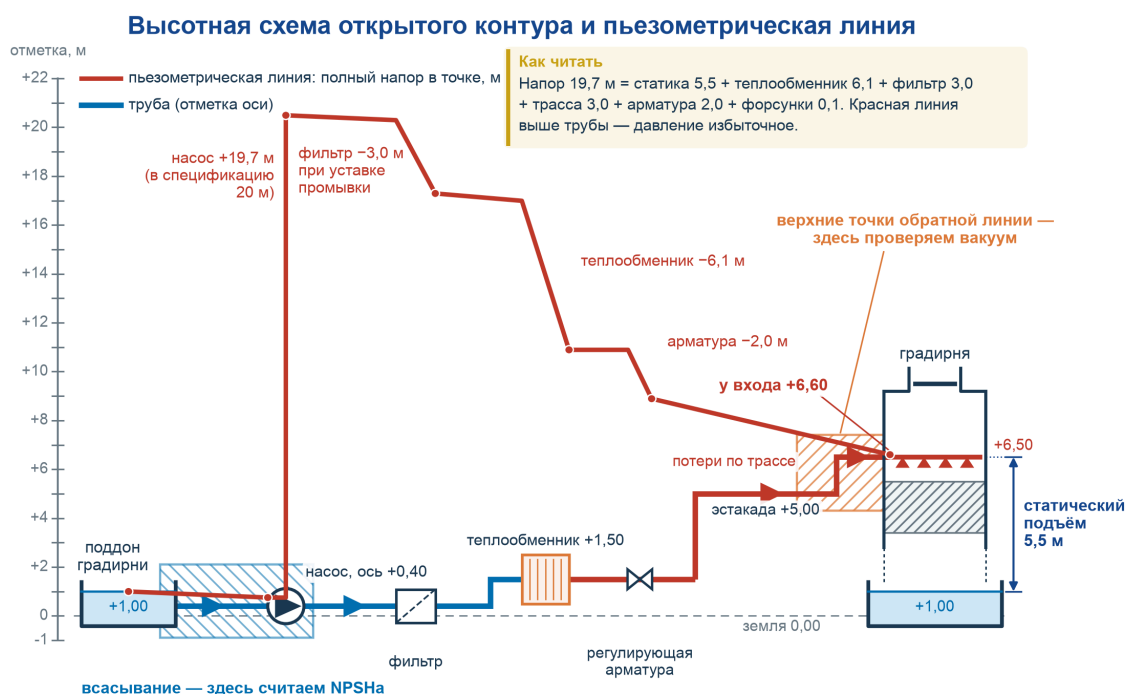
Итог 4.2: летняя расчётная подпитка $16,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, продувка $4,15 \text{ м}^3/\text{ч}$, Ду подпитки 80; годовая подпитка по профилю около 69 тыс. м³ — почти вдвое меньше, чем по летнему максимуму. Профиль в примере условный: для объекта его строят по климату города и графику нагрузки.

4.3. Гидравлика открытого контура: напор, подъём на ороситель, кавитационный запас

В закрытом контуре статика уравновешена, и насос преодолевает только трение. В открытом вода выходит в атмосферу в распределении градири и падает сквозь ороситель в поддон. Этот столб насос каждый раз поднимает заново — от зеркала в поддоне до входа в распределение. Это статический подъём (static lift).

Расчёт начинают с высотной схемы с пятью отметками: рабочее зеркало воды в поддоне или баке, ось насоса, вход в распределение градири, самая высокая точка трассы, отметка потребителя. На неё наносят пьезометрическую линию (hydraulic grade line) — давление в каждой точке в метрах водяного столба. По ней видны две опасные зоны: всасывание и верхние точки обратной линии.

Рисунок 13 Высотная схема и пьезометрическая линия открытого контура: из чего складывается напор 19,7 м



Формула напора:

$$H = H_{\text{ст}} + h_{\text{вс}} + h_{\text{наг}} + h_{\text{потр}} + h_{\text{ф}} + h_{\text{рег}} + h_{\text{расп}},$$

где $H_{\text{ст}}$ — статический подъём; $h_{\text{вс}}$, $h_{\text{наг}}$ — потери на всасывании и по трассе; $h_{\text{потр}}$ — в теплообменнике потребителя; $h_{\text{ф}}$ — в фильтре; $h_{\text{рег}}$ — на регулирующей арматуре; $h_{\text{расп}}$ — давление на входе в распределение. Потери по длине и местные: $h = (\lambda \cdot L / D + \sum \zeta) \cdot v^2 / 2g$.

Дано. 1000 м³/ч. Зеркало в поддоне +1,00, вход в распределение +6,50 (для арифметики; реальную отметку берут из габаритного чертежа выбранной модели), ось насоса +0,40. Всасывание DN500, 15 м; нагнетание и обратная линия DN450, суммарно 280 м. Теплообменник потребителя — 60 кПа по паспорту (6,1 м). Самопромывной фильтр на нагнетании — 3,0 м при устакановке промывки. Регулирующая арматура — 2,0 м. Форсунки градири NCT серии VR — сопротивление меньше 1 кПа, берём 0,1 м.

Ход.

1. Всасывание DN500: $v = 1,41$ м/с, $v^2/2g = 0,102$ м. Трение 0,05 м; местные (вход с противоворонковым устройством 1,0, два отвода 0,6, затвор 0,3, переход 0,1) $\Sigma\zeta = 2,0 \rightarrow 0,20$ м. **$h_{\text{вс}} = 0,25$ м.** 2. Нагнетание DN450: $v = 1,75$ м/с, $v^2/2g = 0,156$ м. Трение $0,015 \cdot 280 / 0,45 \cdot 0,156 = 1,45$ м; местные (12 отводов, 4 затвора, обратный клапан, 2 тройника, выход) $\Sigma\zeta = 8,6 \rightarrow 1,34$ м. **$h_{\text{наг}} = 2,79$ м.** 3. Статический подъём $H_{\text{ст}} = 6,50 - 1,00 = 5,50$ м. 4. $H = 5,50 + 0,25 + 2,79 + 6,10 + 3,00 + 2,00 + 0,10 = 19,74$ м.

Проверка. Статика дала 28 % напора, теплообменник 31 %, трасса 15 %, фильтр 15 %. Трасса больше трети напора — завышены скорости; статика больше половины — градирия стоит слишком высоко.

Итог. Напор 19,7 м, в спецификацию насоса — **20 м при 1000 м³/ч.** Фильтр посчитан при уставке промывки, а не чистым. Запас «на всякий случай» сверху не добавляют: лишний напор насос отработает сдвигом вправо по характеристике — больше мощность и меньше кавитационный запас.

Мощность насоса: $N = \rho \cdot g \cdot G \cdot H / (\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{дв}}) \approx 9,78 \cdot 0,2778 \cdot 20 / (0,79 \cdot 0,95) \approx 72$ кВт. Каждый метр напора на этом расходе — около 3,6 кВт круглый год (на 250 м³/ч — 0,9 кВт, на 2000 м³/ч — 7,2 кВт).

Верхние точки трассы. Если потребитель или эстакада выше входа в распределение, давление в верхней точке обратной линии ниже атмосферного. Пример: оборудование на +15,0, вход в градирию на +6,5: в верхней точке остаётся $10,3 - 8,5 + 1,0 = 2,8$ м абсолютного давления при давлении пара 0,58 м (35 °С); при отметке +18 вода вскипает, и столб рвётся. На пуске в пустую трассу насос поднимает воду до верхней точки: статика $15,0 - 1,0 = 14,0$ м вместо 5,5. Правило: верхние точки трассы — не выше входа в распределение; иначе считайте абсолютное давление в них при самой горячей воде и пусковой режим насоса.

Кавитационный запас (NPSH). Насос характеризует требуемый кавитационный запас NPSHR (net positive suction head required), система даёт располагаемый NPSHa (available). Для открытого контура с поддоном под атмосферой:

$$\text{NPSHa} = (p_{\text{атм}} - p_{\text{п}}) / (\rho \cdot g) + H_{\text{з}} - h_{\text{вс}},$$

где $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление на высоте площадки; $p_{\text{п}}$ — давление насыщенного пара при температуре воды; $H_{\text{з}}$ — превышение зеркала над осью насоса (со знаком минус, если насос выше зеркала); $h_{\text{вс}}$ — все потери на всасывании, включая сетки и фильтры.

Дано. Площадка на высоте 150 м. Проверка при воде 35 °С. Зеркало выше оси насоса на 0,6 м. Потери на всасывании 0,25 м (из расчёта напора). NPSHR насоса для примера: в рабочей точке 5,0 м, на правом краю характеристики 6,5 м (реальные значения — с характеристики выбранного насоса).

Ход.

1. $p_{\text{атм}} = 101,325 \cdot (1 - 2,256 \cdot 10^{-5} \cdot 150)^{5,256} = 99,5$ кПа. 2. $p_{\text{п}}$ при 35 °С = 5,63 кПа, $\rho = 994$ кг/м³: $(99,5 - 5,63) / (994 \cdot 9,81) = 9,63$ м. 3. $\text{NPSHa} = 9,63 + 0,60 - 0,25 = 9,98$ м.

Проверка. $\text{NPSHa} / \text{NPSHR}$ в рабочей точке 2,0, на правом краю 1,54. Правый край — режим одного из двух параллельных насосов, когда второй остановился. Если поставить на всасывание корзинчатый фильтр с перепадом 3 м при уставке промывки, NPSHa падает до 6,98 м, и на правом краю запас 1,07 — насос будет кавитировать при каждой остановке соседнего.

Итог. Без фильтра на всасывании запас достаточный. Сетчатый фильтр ставят на нагнетании после насоса, в поддоне оставляют решётку и противоворонковое устройство. Запас NPSHa над NPSHR принимают по ANSI/HI 9.6.1-2024 для своей отрасли и указывают редакцию в записке. Проверяйте при самой горячей воде, которая может прийти в поддон, и при минимальном уровне, а не при рабочем.

На каждые 1000 м высоты площадки NPSHa меньше примерно на 1,2 м.

Погружение выходного патрубка. Если уровень над выходом мал, над ним закручивается воронка, и воздух идёт в колесо даже при хорошем NPSHa. Минимальное погружение по ANSI/HI 9.8-2024: $S = D \cdot (1 + 2,3 \cdot Fr)$, $Fr = v / \sqrt{g \cdot D}$. Для одного выхода DN500 на 1000 м³/ч: $v = 1,41$ м/с, $Fr = 0,64$, $S = 1,24$ м. Это больше, чем обычно стоит в поддоне, поэтому противоворонковое устройство на выходе поддона обязательно. Увеличение патрубка до DN600 даёт выигрыш всего 8 см; уменьшают S дроблением потока на несколько выходов.

4.4. Объём бака или поддона

Выносной бак ставят, когда поддона не хватает или его нельзя держать на улице зимой. Схема «градирия сливается самотёком в тёплый бак в здании» снимает вопрос замерзания поддона при остановках. Цена бака — в электричестве: насос поднимает воду от зеркала бака, а не от поддона, и каждый метр разницы отметок добавляет к напору (на 1000 м³/ч — около 3,6 кВт на метр, раздел 4.3).

Объём стока при остановке (drain-down volume). При остановке насоса часть воды стекает в поддон или бак. По ASHRAE (HVAC Systems and Equipment 2024, гл. 40) объём между рабочим уровнем и переливом должен её вмещать. Стекает всегда вода в распределении и оросителе градири (объём даёт производитель) и обратная линия от входа в градирию до ближайшей верхней точки или вакуумного клапана. Обратный клапан в оборотной воде со временем начинает пропускать, поэтому в проекте исходят из худшего: стечёт всё, что выше перелива.

Пять слоёв по высоте — от дна к борту:

1. От дна до оси выходного патрубка — зазор и место для осадка. 2. Погружение S от оси выхода до минимального уровня — по ANSI/HI 9.8-2024 (раздел 4.3). 3. Запас на запаздывание подпитки: пока подпитка не догнала испарение, уровень проседает. 4. Drain-down — от рабочего уровня до перелива. 5. От перелива до борта — запас на волну.

Слои 1 и 2 — мёртвый объём: вода там есть всегда, но насос её не берёт. Именно он чаще всего и делает бак большим.

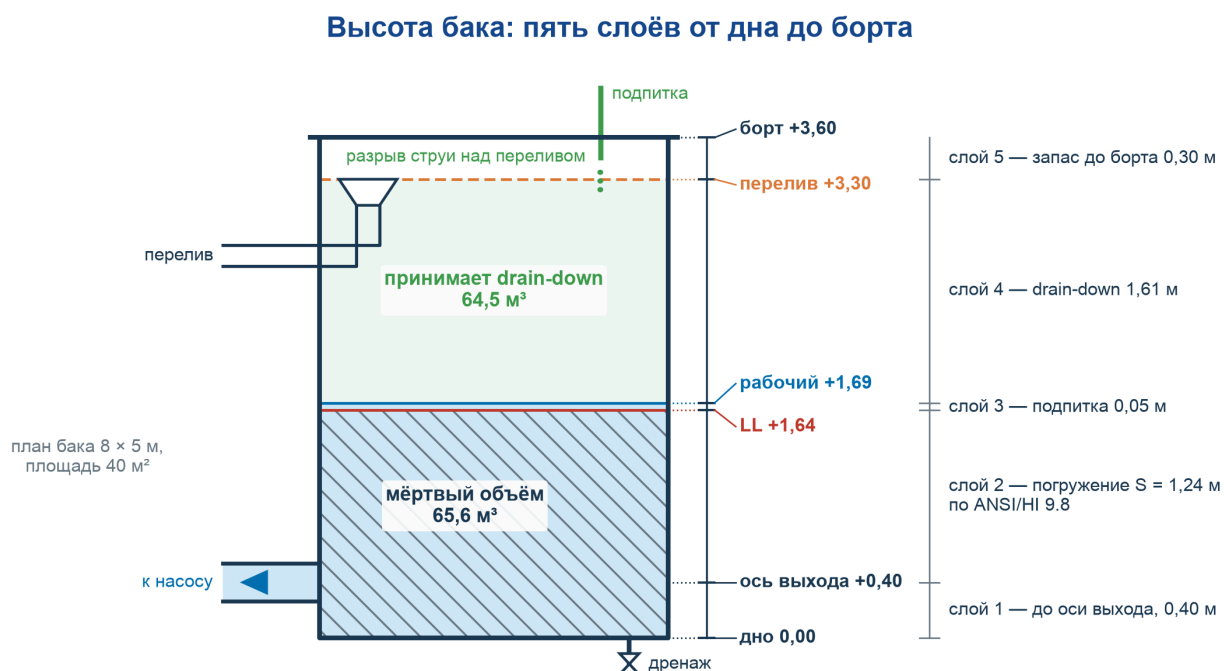
Дано. 1000 м³/ч. Выносной бак в тёплой насосной, план 8×5 м = 40 м². Drain-down трасс и градири в худшем случае: стояк и участок над градирией 26 м DN450 (4,1 м³), распределение и ороситель 3,0 м³ (для арифметики; по паспорту модели), подающая и обратная линии эстакады 2×140 м DN450 (по 22,3 м³) — итого 51,7 м³. Поддон градири над выходом — 4,0 м³ (условно). Самотёчная линия от градири к баку DN600, 40 м, заполнена наполовину. Один выход из бака DN500, ось на 0,40 м от дна. Испарение — летний максимум 0,18 %/К. Запаздывание подпитки — 10 минут (принято).

Ход.

1. Drain-down в бак: $51,7 + 4,0 + 40 \cdot 0,283 \cdot 0,5 = 51,7 + 4,0 + 5,7 = 61,4$ м³; с запасом 5 % (принято) — **64,5 м³**. 2. Слой 4: $64,5 / 40 = 1,61$ м. 3. Слой 2: S = 1,24 м для DN500 на 1000 м³/ч. Минимальный уровень LL = $0,40 + 1,24 = +1,64$ м. 4. Слой 3: $E = 0,0018 \cdot 1000 \cdot 7 = 12,6$ м³/ч; за 10 минут 2,1 м³; 2,1

/ 40 = 0,05 м. Рабочий уровень **+1,69 м**. 5. Перелив $1,69 + 1,61 = \mathbf{+3,30 \text{ м}}$; борт $3,30 + 0,30 = \mathbf{+3,60 \text{ м}}$.
 6. Объём бака $40 \cdot 3,60 = \mathbf{144 \text{ м}^3}$; мёртвый объём до LL $40 \cdot 1,64 = 65,6 \text{ м}^3$.

Рисунок 14 Пять слоёв бака на примере 1000 м³/ч: мёртвый объём, подпитка, drain-down, запас до борта



Проверка. Воды до рабочего уровня 67,6 м³ — это 4,1 минуты циркуляции; бак до перелива держит 132 м³, около 8 минут. По порядку это сходится с ориентирами мировой практики (3–6 минут расхода), значит, грубой ошибки нет. Старый ориентир «10 минут расхода», который встречается в заданиях, дал бы 167 м³ при рабочем уровне. Он не обоснован ни одним из слоёв — считать надо слоями.

Итог. Бак 8 × 5 × 3,6 м, **144 м³**: перелив +3,30, рабочий уровень +1,69, минимальный +1,64. Почти вся вода ниже рабочего уровня — мёртвый объём под погружение.

Что уменьшает бак:

- два выхода DN400 по 500 м³/ч дают S = 0,91 м вместо 1,24 м и экономят $0,33 \cdot 40 = 13 \text{ м}^3$;
- трасса ниже перелива бака уменьшает drain-down до $7,1 + 4,0 + 5,7 = 16,8 \text{ м}^3$ (с запасом 17,6 м³), слой 4 становится 0,44 м, бак — 2,43 м по высоте и 97 м³.

Разница 47 м³ определяется только трассировкой. Если бак посчитали на короткую трассу, а построили трассу по эстакаде, при каждой остановке в перелив уходит 47 м³ подготовленной воды с реагентами.

Перелив и уставки уровня. Перелив считают на аварию — клапан подпитки открыт полностью, насос стоит. При максимальном расходе клапана 40 м³/ч, уклоне 0,02 и половинном заполнении DN150 пропускает 42 м³/ч (запаса нет), DN200 — 90 м³/ч. Слив — с разрывом струи, без запорной арматуры. Уставки датчиков уровня: LL (аварийно низкий) = минимальный уровень, стоп насоса; включение подпитки чуть ниже рабочего уровня; отключение подпитки = рабочий уровень; НН (аварийно высокий) — на 50–100 мм ниже кромки перелива, сигнал «подпитка не закрылась».

ВАЖНО

Перелив никогда не перекрывают. На одном из объектов сторонний бак был рассчитан неверно и переливался; перелив закрыли. Вода пошла вверх и залила центробежные вентиляторы градирни — колёса разрушены.

4.5. Электрическая нагрузка вентиляторов и нагрузка на основание или кровлю

Электрическая нагрузка. Установленную мощность двигателей вентиляторов даёт подбор производителя: у NCT она указана в технических характеристиках к подбору и в обозначении габаритного чертежа. Ориентиры по сериям:

Таблица 17 Вентиляторы и двигатели серий NCT

Серия NCT	Вентилятор	Двигатель
VA	осевой с ременным приводом, диаметр 2000–3000 мм, один на секцию	общепромышленный, до 45 кВт, вне потока влажного воздуха
VR	центробежный высоконапорный, диаметр 800 мм, 300–500 об/мин, внизу в сухом отсеке	по модели: на габаритных чертежах встречаются 22, 30, 37, 45, 55 и 90 кВт
SVA (мини-градирни)	осевой, диаметр 800 мм	3 кВт

Центробежный вентилятор в пике потребляет на 20–30 % больше осевого, но с частотным регулированием среднегодовое потребление почти равно.

В задание на электроснабжение, кроме вентиляторов, включают отдельными строками: насосы контура (раздел 4.3), ТЭНы поддона или бака, греющий кабель наружных труб, щит ХВП, а у закрытой градирни — насос орошения.

Как считать потребление. Мощность вентилятора пропорциональна кубу скорости: $N_2 / N_1 = (n_2 / n_1)^3$. Поэтому все вентиляторы на пониженной скорости выгоднее, чем часть на полной, а часть стоит: две секции на половинной скорости берут $2 \cdot 0,5^3 = 0,25$ мощности одного вентилятора на полной, а дают около 120 % производительности одной секции.

Пример. Установленная мощность вентиляторов 60 кВт (подставьте из подбора), 8000 ч/год, средняя потребность в воздухе 60 % от номинала.

1. Без частотного привода, регулирование включением и выключением: $60 \cdot 0,6 = 36$ кВт в среднем. 2. С частотным приводом на 60 % скорости: $60 \cdot 0,6^3 = 13,0$ кВт; плюс 10 % на потери в преобразователе и отличие от закона куба — 14,3 кВт. 3. Экономия: $(36 - 14,3) \cdot 8000 =$ **около 174 тыс. кВт·ч в год.**

Средняя загрузка 60 % — допущение: на объекте с круглогодичной нагрузкой и холодной зимой она ниже, и выигрыш частотного привода больше. Ограничения, которые закладывают в алгоритм: частотный привод не ниже 30 % номинальной скорости (15 Гц при 50 Гц), не больше 6 пусков вентилятора в час, сначала насос, потом вентилятор.

Нагрузка на основание или кровлю. Для раздела КР берут не сухую массу из каталога, а **массу в рабочем состоянии**, и проверяют **аварийную массу** — максимальную массу аппарата с водой, которую даёт производитель. На габаритных чертежах NCT даны все три массы и динамическая нагрузка.

Таблица 18 Двигатель и масса по габаритным чертежам NCT

Модель NCT (габаритный чертёж)	Двигатель, кВт	Масса изделия, кг	Рабочая масса, кг	Аварийная масса, кг
VR-0-1	22	1450	2070	2870
VR-1-3	37	4010	5190	6720
VR-2-3	45	4010	5760	8010
VR-3-4	55	6585	8945	12 005
VRC-1-4 (закрытая)	37	6650	9160	10 690
e-VRC-3-2 (закрытая)	45	13 445	17 555	20 615

Пример — VR-2-3 на кровле. По габаритному чертежу: опорная рама 5298 × 2436 мм, рабочая масса 5760 кг, аварийная 8010 кг, динамическая нагрузка 1,58 кН.

1. Площадь в плане: $5,298 \cdot 2,436 = 12,91 \text{ м}^2$. 2. Рабочая: $5760 / 12,91 = 446 \text{ кг/м}^2 \rightarrow 446 \cdot 9,81 / 1000 = 4,4 \text{ кПа}$ в среднем по площади рамы. 3. Аварийная: $8010 / 12,91 = 620 \text{ кг/м}^2 \rightarrow 6,1 \text{ кПа}$. 4. Проверка: аварийная масса в 2 раза больше сухой. Если в задании конструктору стоит 4 т, кровлю считали по сухой массе.

Итог. Конструктору передают аварийную массу, динамическую нагрузку, схему опирания и размеры рамы; средняя нагрузка по площади нужна только для первой прикидки, а нагрузку на балки считают по точкам опирания. Сверху добавляют нагрузки от снега и ветра по действующим нормам.

ВНИМАНИЕ

ОпираНИЕ. Если градирня ставится не на фундамент, а на опорную металлоконструкцию, балки располагают по рекомендованной схеме габаритного чертежа, а нижнюю часть градирни закрывают стальным листом, чтобы вентилятор не подсасывал воздух снизу. Массы и схему опирания берите только из габаритного чертежа выбранной модели: таблица выше — ориентир для стадии П.

4.6. Подбор закрытой градирни: поправка на гликоль и температура переключения в сухой режим

У закрытой градирни (closed circuit cooling tower) технологическая жидкость идёт внутри труб змеевика, а снаружи змеевик орошается водой из поддона насосом орошения. Тепло проходит три звена: от жидкости к стенке трубы, через стенку и отложения, от плёнки орошающей воды к воздуху. Коэффициент теплопередачи складывается из сопротивлений:

$$1 / K = 1 / \alpha_{\text{вн}} + \delta / \lambda + R_{\text{отл}} + 1 / \alpha_{\text{нар}}.$$

Отсюда: arrgoach у закрытой градирни больше, чем у открытой; гликоль снижает $\alpha_{\text{вн}}$, и эта поправка сидит внутри программы подбора; накипь на змеевике — прямая потеря мощности, поэтому водный режим контура орошения — часть подбора.

Сверх данных раздела 3 для закрытой градирни нужны: жидкость и концентрация (по массе или по объёму), нагрузка и сухой термометр в холодный период, рабочее давление и допустимая потеря давления в змеевике. Змеевик NCT — углеродистая сталь с горячим цинкованием снаружи, для закрытых систем под давлением. Если гликоль контактирует с атмосферой через открытый расширительный бак, нужен змеевик из нержавеющей стали.

Поправка на гликоль. Гликоль меняет подбор в трёх местах: расход (ниже теплоёмкость), поверхность (ниже теплоотдача внутри труб) и насос (выше потери давления).

Дано. 1000 м³/ч, 35 → 28 °С, мокрый термометр 22 °С. Сначала вода (с = 4,19 кДж/(кг·К), ρ = 1000 кг/м³), затем 30 % этиленгликоль (для учебного расчёта с = 3,75 кДж/(кг·К), ρ = 1040 кг/м³; реальные значения — из паспорта теплоносителя).

Ход.

1. Тепло на воде: $Q = (1000 / 3600) \cdot 1000 \cdot 4,19 \cdot 7 \approx 8150$ кВт. 2. Расход гликоля на то же тепло при том же перепаде: $G = 8150 \cdot 3600 / (1040 \cdot 3,75 \cdot 7) \approx 1075$ м³/ч, на 7,5 % больше. 3. Если расход оставить 1000 м³/ч, перепад вырастет до $8150 \cdot 3600 / (1000 \cdot 1040 \cdot 3,75) \approx 7,5$ К: вход горячее (35,5 °С) или выход холоднее (27,5 °С) — а это меньший approach и более крупный аппарат. 4. Поверхность, на условных коэффициентах (иллюстрация механизма, не данные NCT): α_{вн} на воде 5000, на гликоле 3000 Вт/(м²·К), α_{нар} = 800 Вт/(м²·К), δ/λ = 0,00003 м²·К/Вт. Вода: K ≈ 676 Вт/(м²·К), гликоль: K ≈ 620 Вт/(м²·К) — на 8 % ниже. Насколько больше нужен аппарат, показывает только расчёт производителя. 5. Насос, тоже условно: на воде потеря давления в контуре 250 кПа, КПД 0,75 → $N = (1000 / 3600) \cdot 250 / 0,75 = 92,6$ кВт. На гликоле потери растут как квадрат расхода (×1,155) и ещё примерно ×1,1 из-за вязкости: 250 · 1,155 · 1,1 = 318 кПа, $N = (1075 / 3600) \cdot 318 / 0,75 = 126,6$ кВт.

Проверка. Размерность: м³/с · кПа = кВт. Порядок: +7,5 % расхода и +27 % давления дают около +37 % мощности — правдоподобно.

Итог. На 30 % этиленгликоле для той же нагрузки нужны расход +7,5 %, аппарат с большей поверхностью (по программе подбора) и насос примерно на 34 кВт мощнее. Защита от замерзания: 30 % этилен- или пропиленгликоля защищает до -14 °С, кристаллизация начинается с -12,7 °С. Концентрацию подбирают по зимней температуре объекта с запасом, а не «сколько обычно». Гликоль нужен там, где без него змеевик замёрзнет; альтернатива — вода с защитой змеевика (минимальный расход, автоматический дренаж) или промежуточный теплообменник.

ВНИМАНИЕ

Запас на гликоль уже сидит в программе подбора. Не добавляйте к нему свой процент. Запас на накипь закладывают не процентом к мощности, а требованием к водоподготовке контура орошения.

Сухой режим и температура переключения. Летом закрытая градирня работает мокрой: насос орошения поливает змеевик, тепло уходит испарением. Зимой при низкой нагрузке орошение выключают и охлаждают жидкость только воздухом — это сухой режим (dry operation). У e-серий NCT (e-SVAC, e-VRC, e-VAC) змеевик оребрён: это +30–40 % площади теплообмена, и часть года аппарат работает без орошения, подпитки и парения.

В сухом режиме движущая сила — уже сухой термометр наружного воздуха: $Q_{\text{сух}} \approx UA_{\text{сух}} \cdot (t_{\text{ж.ср}} - t_{\text{в}})$, где $UA_{\text{сух}}$ — произведение коэффициента теплопередачи на площадь в сухом режиме, кВт/К (даёт производитель); $t_{\text{ж.ср}}$ — средняя температура жидкости в змеевике. Приравняв $Q_{\text{сух}}$ к нагрузке, получаем:

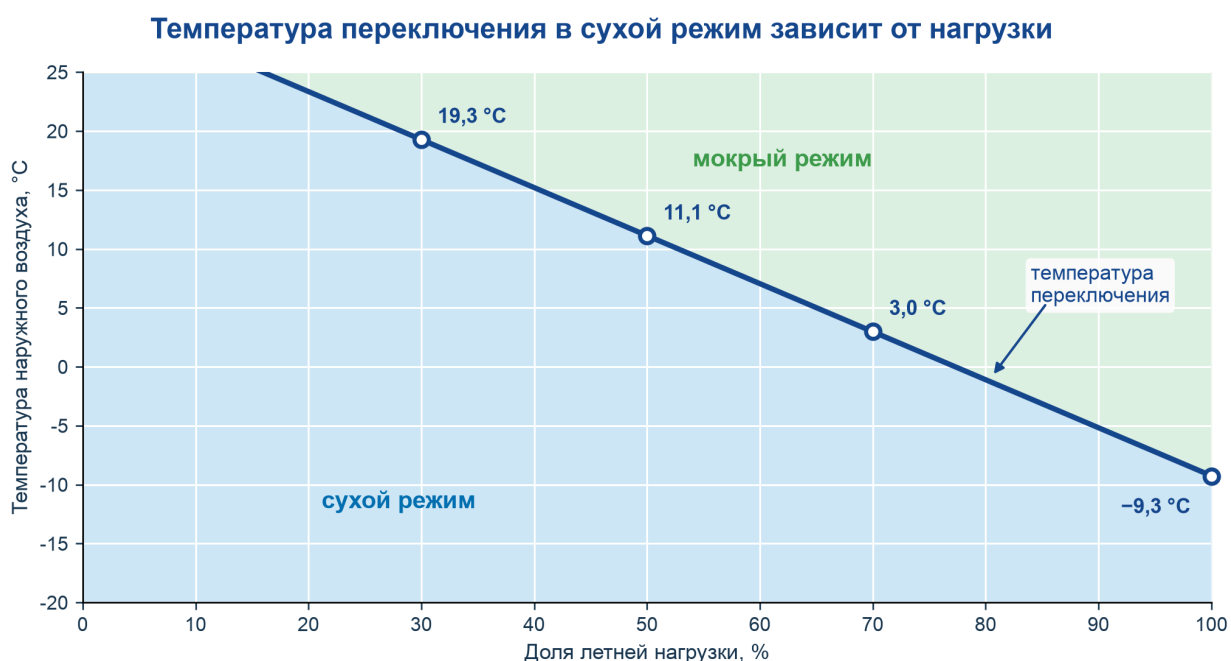
$t_{\text{перекл}} = t_{\text{ж.ср}} - Q_{\text{нагр}} / UA_{\text{сух}}$ — ниже этой температуры воздуха аппарат справляется сухим.

Пример. $t_{\text{ж.ср}} = (35 + 28) / 2 = 31,5$ °С, летняя нагрузка 8150 кВт, $UA_{\text{сух}} = 200$ кВт/К (условная цифра, не паспорт NCT).

Таблица 19 Подбор закрытой градирни: поправка на гликоль и температура переключения в сухой режим

Доля летней нагрузки	Нагрузка, кВт	t переключения, °C
30 %	2445	19,3
50 %	4075	11,1
70 %	5705	3,0
100 %	8150	-9,3

Рисунок 15 Температура переключения в сухой режим зависит от нагрузки



пример: $t_{ж.ср} 31,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $UA_{сух} 200\text{ кВт/К}$ — условно; $t_{перекл} = t_{ж.ср} - Q_{нагр} / UA_{сух}$

Сухой режим — функция нагрузки. Если зимой производство работает на 50 %, аппарат переходит в сухой режим уже при $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$; если на 100 % — только в мороз ниже $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому в опросном листе нужна нагрузка по сезонам. Оценка грубая (не учитывает нагрев воздуха по ходу через змеевик); точную кривую «нагрузка — температура переключения» даёт программа подбора.

Вода при 50 % нагрузки в мокром режиме (по максимальному коэффициенту $E\text{ [л/с]} = Q\text{ [кВт]} / 2322$): $E = 4075 / 2322 = 1,75\text{ л/с} = 6,3\text{ м}^3/\text{ч}$; при трёх циклах продувка $3,15\text{ м}^3/\text{ч}$, подпитка $9,5\text{ м}^3/\text{ч}$. Каждый час сухого режима экономит до $9,5\text{ м}^3$ подпиточной воды и $3,15\text{ м}^3$ стоков.

Сухой режим — сезонный, а не способ регулирования: включать и выключать орошение для подстройки мощности нельзя (попеременное смачивание и высыхание даёт накипь). В мороз при сухом режиме поддон и стояк насоса орошения опорожняются.

4.7. Сквозной пример: от исходных данных до подпитки, напора насоса и объёма бака

Объект. Охлаждение конденсаторов чиллеров на производстве. Холод 2000 кВт , потребляемая мощность компрессоров 420 кВт (по паспорту чиллеров, условно). Вода на градирню $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, из градирни $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчётный мокрый термометр $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Анализ подпитки тот же, что в разделе 4.2 ($N = 4$). Открытая градирня на площадке у здания, вход в распределение $+5,00$ (условно; по габ-

ритному чертежу модели). Выносной бак 4×3 м в заглублённой части тёплой насосной, дно –3,00. Площадка на высоте 150 м.

Трасса (принято для примера): всасывание DN350, 10 м; нагнетание и обратная линия DN300, суммарно 200 м, из них 2×80 м по эстакаде выше бака; стояк к градирне 15 м DN300. Сопротивление конденсатора 50 кПа (5,1 м), самопромывной фильтр на нагнетании 3,0 м при уставке промывки, арматура 2,0 м, форсунки 0,1 м. Вода в распределении и оросителе $1,5 \text{ м}^3$, в поддоне градирни $2,0 \text{ м}^3$ (условно; по паспорту модели). Самотёчная линия от градирни к баку DN350, 20 м, заполнена наполовину.

Таблица 20 Сквозной пример: от исходных данных до подпитки, напора насоса и объёма бака

Шаг	Что считаем	Расчёт	Результат
1	Нагрузка на градирню	$2000 + 420$	2420 кВт
2	Range и approach	$32 - 27; 27 - 22$	5 К и 5 К — в зоне сертификации CTI (не меньше 2,2 и 2,8 К)
3	Расход воды	$2420 / (1,163 \cdot 5)$	416 м³/ч
4	Испарение, летний максимум	$0,0018 \cdot 416 \cdot 5$	3,74 м³/ч (проверка: $Q / r = 3,61 \text{ м}^3/\text{ч}$, максимум чуть больше — верно)
5	Унос при 0,005 %	$416 \cdot 0,00005$	0,02 м³/ч
6	Продувка с уносом, $N = 4$	$3,74 / (4 - 1)$	1,25 м³/ч; через клапан 1,23 м³/ч
7	Подпитка, расчётная	$3,74 \cdot 4 / 3$	5,0 м³/ч
8	Подпитка и продувка, худший режим ($N = 2$)	$3,74 \cdot 2; 3,74$	7,5 м³/ч и 3,75 м³/ч — на них диаметры и клапаны
9	Диаметр подпитки при 1,5 м/с	$\sqrt{(4 \cdot 7,5/3600 / (\pi \cdot 1,5))}$	0,042 м → Ду50
10	Уставка продувки	$450 \cdot 4$	1800 мкСм/см
11	Погружение выхода бака DN300	$v = 1,63 \text{ м/с}$; $Fr = 0,95$; $0,3 \cdot (1 + 2,3 \cdot 0,95)$	$S = 0,96 \text{ м}$
12	Минимальный уровень LL	$0,30 + 0,96$	+1,26 м от дна (–1,74)
13	Запас на подпитку, 10 минут	$3,74 / 6 / 12$	0,05 м → рабочий уровень +1,31 м от дна (–1,69)
14	Drain-down	стояк 1,06 + эстакада 11,31 + градирня 1,5 + поддон 2,0 + самотёчная 0,96	$16,8 \text{ м}^3$; с запасом 5 % — $17,7 \text{ м}^3$
15	Слой drain-down	$17,7 / 12$	1,47 м → перелив +2,78 м от дна (–0,22)
16	Борт и объём бака	$2,78 + 0,30 = 3,08 \rightarrow 3,1 \text{ м}$; $12 \cdot 3,1$	бак $4 \times 3 \times 3,1 \text{ м}$, $\approx 37 \text{ м}^3$
17	Статический подъём	$5,00 - (-1,69)$	6,69 м
18	Потери на всасывании DN350	$v = 1,20 \text{ м/с}$; трение 0,03 + местные ($\Sigma \zeta = 2,0$) 0,15	0,18 м
19	Потери в трассе DN300	$v = 1,63 \text{ м/с}$; трение $0,016 \cdot 200 / 0,30 \cdot 0,136 = 1,45$ + местные ($\Sigma \zeta = 8,6$) 1,17	2,62 м
20	Напор насоса	$6,69 + 0,18 + 2,62 + 5,1 + 3,0 + 2,0 + 0,1$	$19,7 \text{ м} \rightarrow$ 20 м при $416 \text{ м}^3/\text{ч}$
21	Мощность насоса	$994 \cdot 9,81 \cdot 0,1156 \cdot 19,7 / (0,79 \cdot 0,95)$	$\approx 30 \text{ кВт}$

Шаг	Что считаем	Расчёт	Результат
22	NPSHa при 35 °C, уровень LL над осью насоса (-2,70)	$9,63 + 0,96 - 0,18$	10,4 м — сравнить с NPSHR насоса по ANSI/HI 9.6.1-2024

Проверки.

- Нагрузка «по воде» $1,163 \cdot 416 \cdot 5 = 2419$ кВт — совпадает с нагрузкой по чиллерам.
- Структура напора: статика 34 %, конденсатор 26 %, фильтр 15 %, трасса 14 %. Статика больше обычного — это цена бака в заглублённой насосной: насос поднимает воду от зеркала бака, а не от поддона градирни.
- Бак до рабочего уровня держит $15,7 \text{ м}^3$ — 2,3 минуты циркуляции, до перелива 33 м^3 — около 5 минут. Порядок совпадает с ориентирами мировой практики (3–6 минут), грубой ошибки нет.
- Мёртвый объём до LL — $15,1 \text{ м}^3$, почти половина бака. Два выхода вместо одного уменьшили бы его.

Итог для проекта. Расход $416 \text{ м}^3/\text{ч}$; летняя подпитка $5,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ (линия Ду50 на $7,5 \text{ м}^3/\text{ч}$), продувка $1,23 \text{ м}^3/\text{ч}$ с уставкой 1800 мкСм/см; насос $416 \text{ м}^3/\text{ч} \times 20 \text{ м}$, около 30 кВт, NPSHa 10,4 м; бак $4 \times 3 \times 3,1 \text{ м}$, около 37 м^3 , перелив -0,22, рабочий уровень -1,69, минимальный -1,74. Если эстакаду опустить ниже перелива бака, drain-down уменьшится на 11 м^3 , и бак станет ниже почти на метр.

ПРИМЕЧАНИЕ

Как использовать пример. Замените цифры своего объекта в той же последовательности шагов. Отметку входа в распределение, объём воды в распределении и поддоне, массы и мощность двигателей мы даём по заполненному опросному листу вместе с подбором — их не нужно угадывать.

5. Принципиальные схемы контура

Схему контура градирни выбирают не по привычке, а по трём отметкам: где стоит градирня, где потребитель и где насос. Всё остальное следует из этих трёх чисел и из того, работает ли система зимой. В разделе разобраны четыре базовые схемы открытого контура и внутренний контур закрытой градирни. Как обвязать каждую схему арматурой, — в разделе 6.

Все примеры раздела считаем на одном объекте: расход $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, вода $35 \rightarrow 28 \text{ }^\circ\text{C}$, мокрый термометр $22 \text{ }^\circ\text{C}$, тепловая нагрузка $1000 \times 1,163 \times 7 = 8141 \text{ кВт}$. Это расчётная точка для арифметики, а не привязка к городу.

5.1. Пять вопросов, которые выбирают схему

У открытого контура четыре базовые схемы, всё остальное — их сочетания:

- **Схема А — насос из поддона градирни.** Вода собирается в поддоне (basin), насос берёт её оттуда и гонит через потребителя обратно на оросители.
- **Схема Б — отдельный бак в помещении (remote sump).** Поддон градирни работает как сливной лоток, вода самотёком уходит в бак в тёплом помещении, насос берёт воду из бака.
- **Схема В — разделительный теплообменник.** Открытый контур градирни замкнут на теплообменник, за ним — отдельный чистый контур потребителя со своим насосом.
- **Схема Г — несколько секций или градирен** на общих коллекторах с выравнивающими линиями между поддонами.

Таблица 21 Пять вопросов, которые выбирают схему

Вопрос	Ответ	Склоняемся к схеме
1. Где потребитель по высоте относительно поддона?	Ниже или на уровне поддона	А
	Выше на несколько метров, трубы над поддоном	А с проверкой стока при остановке или Б
	Выше на 10–15 м и больше	В или закрытая градирня
2. Работа зимой?	Только лето	А
	Круглый год, поддон на улице, серия без обмерзания	А с байпасом и при необходимости обогревом
	Круглый год, воду на улице держать нельзя	Б
3. Можно ли пускать воду, контактирующую с воздухом, в потребителя?	Да, потребитель терпит взвесь	А или Б
	Нет: тонкие каналы, дорогие машины, чистая технология	В или закрытая градирня
4. Сколько тепла и потребителей?	Одна градирня, один режим	А
	Больше одной градирни или нужен резерв	Г
5. Давление в контуре потребителя?	Низкое, в пределах напора насоса градирни	А или Б
	Высокое, контур под статикой здания	В

Таблица не заменяет расчёт, но задаёт порядок: сначала отметки, потом зима, потом чистота воды, потом число градирен. Проектировщик, который начинает с «у нас всегда бак», пропускает первые три вопроса.

ASHRAE (HVAC Systems and Equipment 2024, гл. 40) требует располагать теплообменники и как можно больше трубопроводов ниже рабочего уровня поддона. По оценке журнала Cooling Best Practices (2023), выносные баки стоят меньше чем в 10 % систем в мире. В России их больше из-за зимы, но бак ставят, когда он решает конкретную задачу.

5.2. Схема А: насос берёт воду из поддона

Базовая схема для большинства открытых градирен. Вода из поддона по короткой всасывающей линии идёт к насосу, насос гонит её через потребителя, горячая вода поднимается на форсунки, стекает по оросителю и возвращается в поддон.

Рисунок 16 Схема А: открытый контур с насосом из поддона градирни

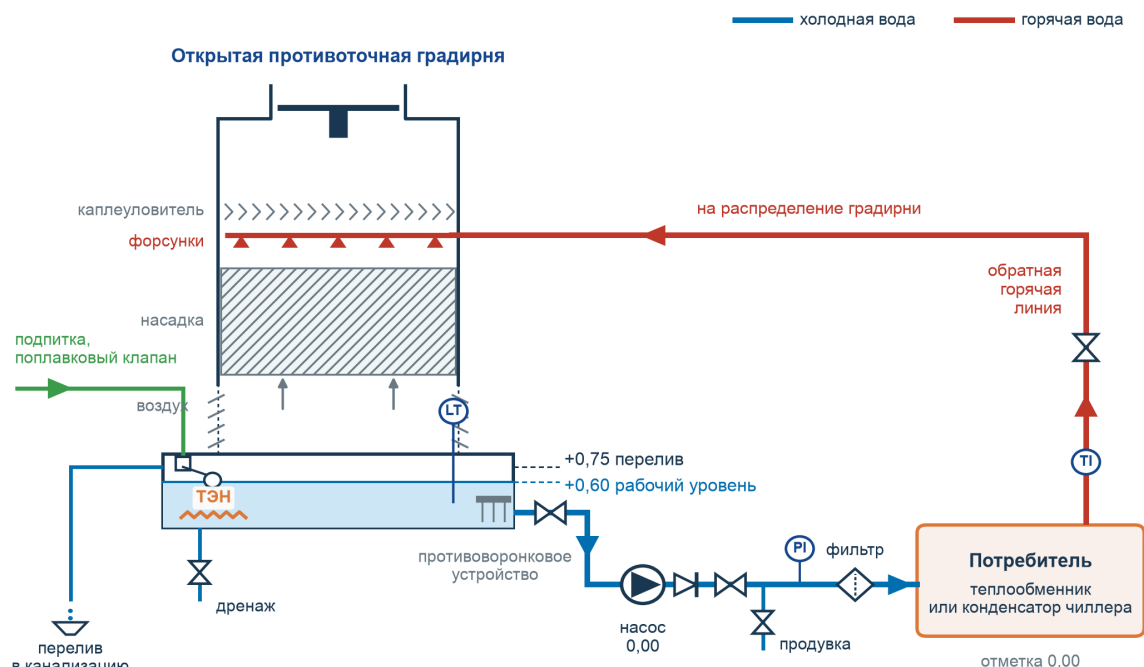


Схема работает, когда выполнены три условия:

- **насос ниже уровня поддона** — вода приходит к насосу самотёком, кавитационный запас (NPSH) максимален;
- **трубы и потребитель ниже или на уровне поддона** — тогда при остановке насоса в поддон стекает только вода из распределения и оросителя;
- **поддон выдерживает зиму** — работа сезонная, поддон обогревается или выбрана серия, которой обогрев поддона не нужен (у открытых градирен NCT серии VR ТЭНы поддона не требуются).

Насос подбирают не только на потери в трубах и подъём до распределения, но и на давление на входе в градирню. В типовых схемах обвязки NCT на входе закладывают **15–20 кПа**; точное значение — по данным выбранной модели.

Главный риск схемы А — переполнение поддона при остановке. Объём стока при остановке (drain-down volume) — вода, которая стекает в поддон, когда насос встаёт. Она берётся из трубопроводов выше уровня поддона, из распределительной системы и с оросителя. Если поддон не вмещает её между рабочим уровнем и переливом, вода уходит в перелив. При следующем пуске насос выкачивает поддон до срыва: хватает воздух, подпитка не успевает. ASHRAE прямо требует, чтобы объём между рабочим уровнем и переливом вмещал весь сток при остановке.

Всегда стекают вода в распределении и на оросителе и обратная линия до ближайшей верхней точки. Трубы выше перелива стекают назад через насос, когда обратный клапан начинает пропускать, а в оборотной воде это происходит через несколько месяцев. Поэтому считают худший случай: стечёт всё, что выше перелива.

Расчёт на типовом объекте.

Дано: градирня с зеркалом в поддоне на +1,00 и переливом на +1,15, вход в распределение +6,50. Трасса DN450: стояк и участок над градирней — 26 м; эстакада на +5,00 — по 140 м подающей и обратной линии. Вода в распределении и на оросителе — для арифметики 3,0 м³ (в проекте — по паспорту модели).

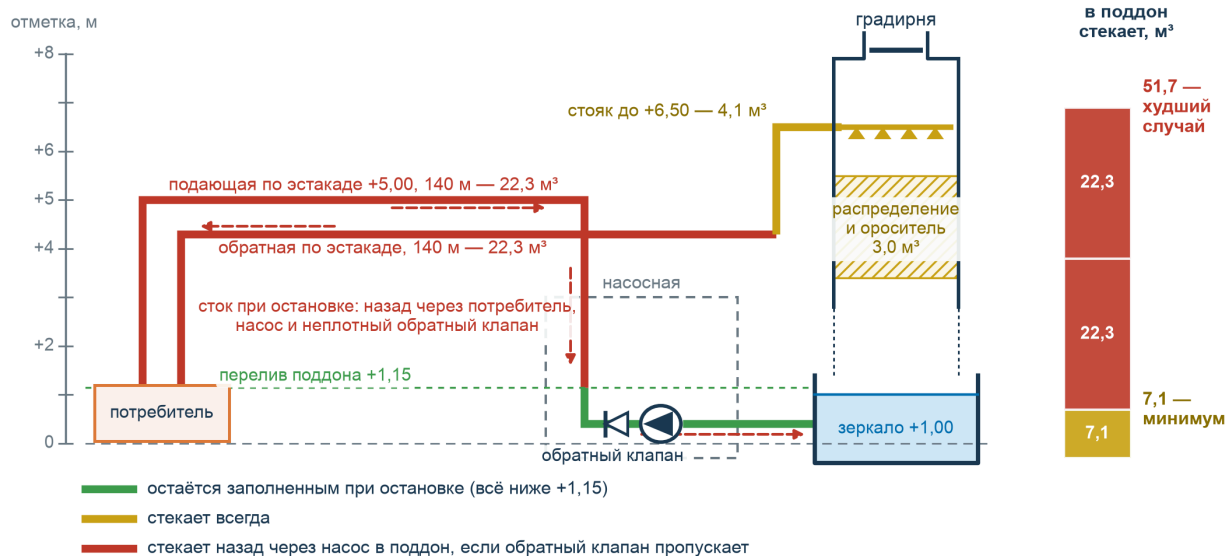
Ход:

1. Объём трубы DN450 — 0,159 м³ на метр.
2. Стояк и участок над градирней: $26 \times 0,159 = 4,1$ м³ — стекает всегда.
3. Распределение и ороситель: 3,0 м³ — стекает всегда.
4. Обратная линия по эстакаде: $140 \times 0,159 = 22,3$ м³. Эстакада ниже входа в распределение, поэтому в градирню эта вода не переливается, а уходит назад через потребитель, насос и неплотный обратный клапан.
5. Подающая линия по эстакаде: ещё 22,3 м³ тем же путём.

Итог: минимум $4,1 + 3,0 = 7,1$ м³, худший случай $7,1 + 22,3 + 22,3 = 51,7$ м³. Разница в семь раз зависит только от трассировки и арматуры.

Вывод: если поддон принимает 7 м³, а трасса идёт по эстакаде, при каждой остановке в перелив уходит около 45 м³ подготовленной воды вместе с реагентами. Решений три: опустить трубы ниже перелива поддона, перейти к схеме Б или поставить вакуумный клапан в верхней точке обратной линии, чтобы рвать сифон (см. раздел 6). Полезную ёмкость поддона между рабочим уровнем и переливом даёт производитель градирни.

Карта drain-down: что стекает в поддон при остановке насоса



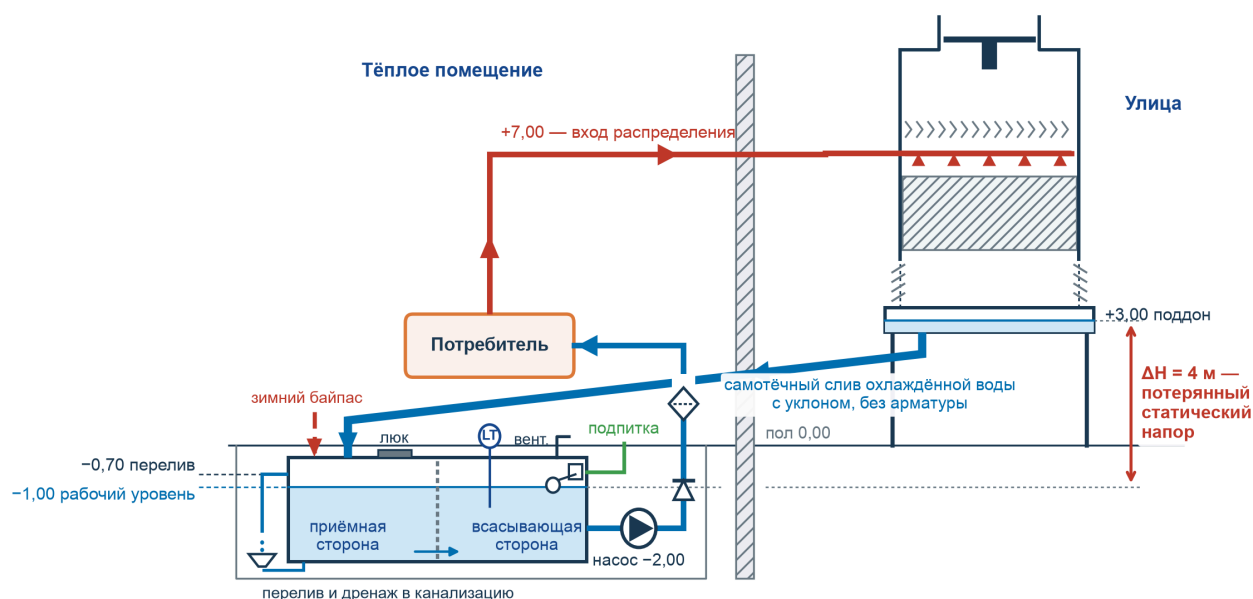
ВНИМАНИЕ

Перелив при остановке — не мелочь. Известен случай со сторонним баком: перелив рассчитали неправильно, к тому же перекрыли задвижкой. Вода поднялась и залила центробежные вентиляторы градирни, колёса разрушились. Перелив считают на полный сток при остановке, выводят в канализацию с разрывом струи и никогда не перекрывают арматурой.

5.3. Схема Б: отдельный бак в тёплом помещении

В схеме Б поддон градирни не держит воду: она самотёком уходит по сливной линии в бак в отапливаемом помещении или приямке, насос берёт воду из бака. При остановке вся вода собирается в тёплом баке, на улице ничего не остаётся.

Рисунок 18 Схема Б: градирня на улице сливает воду самотёком в бак в тёплом помещении



Что даёт бак:

- **зима** — после остановки на улице нет воды; главная причина баков в России;
- **сток при остановке** — бак принимает его целиком, если заложен в расчёт;
- **буфер** — при ступенчатой нагрузке (плавильная печь, периодический процесс) объём воды сглаживает скачок температуры;
- **удобное место** для подпитки, продувки, дозирования реагентов и боковой фильтрации — всё в помещении, водопровод к градирне на улицу не тянут.

Чем за него платят — статическим напором. В схеме А насос поднимает воду от уровня поддона до форсунок, в схеме Б — от уровня в баке. Разница отметок — это напор, который вода потеряла, упав в бак, и насос тратит энергию, чтобы поднять её снова.

Расчёт потери напора.

Дано: 1000 м³/ч, поддон градирни +3,00, уровень в баке -1,00, ΔН = 4 м. КПД насосного агрегата 0,75, работа 8000 ч/год.

Ход:

1. Дополнительная мощность $N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H / \eta = 1000 \cdot 9,81 \cdot (1000 / 3600) \cdot 4 / 0,75 = 14,5 \text{ кВт}$.
2. За год: $14,5 \cdot 8000 = 116 \text{ 000 кВт} \cdot \text{ч}$.
3. Проверка: на каждый метр потерянного напора при 1000 м³/ч и КПД 0,75 уходит 3,63 кВт; четыре метра — 14,5 кВт. Сходится.

Итог: бак на 4 м ниже поддона добавляет насосу 14,5 кВт на весь срок службы. Потребление ТЭНов поддона и греющего кабеля, которые понадобились бы в схеме А, вычитают из этой цифры.

Таблица 22 Схема Б: отдельный бак в тёплом помещении

Расход, м³/ч	ΔН = 2 м	ΔН = 4 м	ΔН = 6 м	ΔН = 8 м
500	3,6 кВт	7,3 кВт	10,9 кВт	14,5 кВт
1000	7,3 кВт	14,5 кВт	21,8 кВт	29,1 кВт
2000	14,5 кВт	29,1 кВт	43,6 кВт	58,1 кВт

Дополнительная мощность насоса на потерянный статический напор, КПД агрегата 0,75.

Вывод: бак ставят как можно выше; бак в подвале под градирней на кровле — самый затратный вариант.

Объём бака — порядок цифр. Когда выносной бак нужен, ориентир — 5–6 минут циркуляции: для 1000 м³/ч это 83–100 м³. Старый ориентир «10 минут расхода» избыточен. Объём собирают из слоёв: погружение всаса, запас на запаздывание подпитки, сток при остановке и запас до борта.

Три правила для схемы Б:

- **перегородка-сетка в баке** между приёмной стороной (приход с градирни и зимнего байпаса) и всасывающей стороной: самотёчный поток несёт воздух, а зимой в ту же сторону приходит горячая байпасная вода — без перегородки и то и другое идёт прямо во всас насоса;
- **сливная линия от градирни к баку** — самотёчная, с уклоном, без запорной арматуры; диаметр считают на полный расход при частичном заполнении, а не по скорости напорной трубы;
- **перелив и вентиляция бака** — на полный сток при остановке, без арматуры.

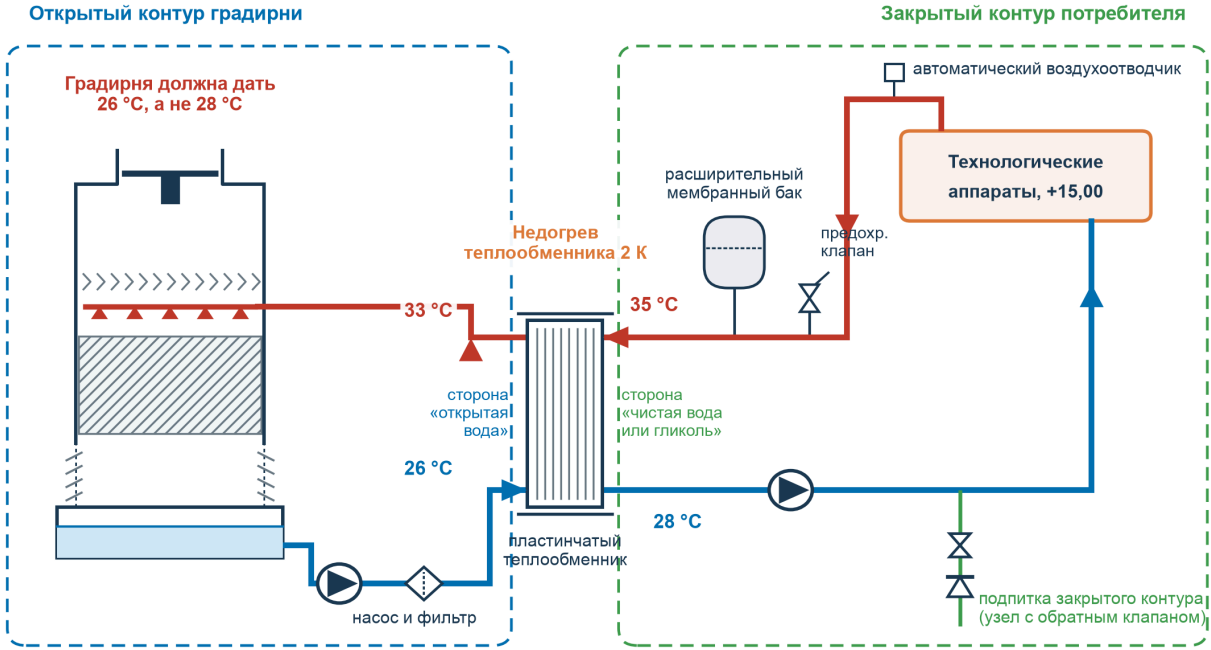
ПРИМЕЧАНИЕ

Пример из практики. Литейное производство, охлаждение индукционной плавильной печи: открытая градирня NCT серии VR, чиллер для доохлаждения при наружной температуре выше 25 °С, водоподготовка, насосная группа и выносной бак. Схема Б выбрана не по привычке, а по двум ответам из таблицы 5.1: круглогодичная работа и ступенчатая нагрузка печи, которую сглаживает объём воды.

5.4. Схема В: разделительный теплообменник

В схеме В вода градирни не доходит до потребителя. Открытый контур — градирня, насос, теплообменник — замкнут сам на себя. По другую сторону теплообменника — закрытый чистый контур потребителя со своим насосом, расширительным баком и подпиткой. В закрытом контуре можно использовать любой теплоноситель: такие схемы часто применяют для охлаждения масла в энергетике и в пищевой промышленности.

Рисунок 19 Схема В: открытый контур градирни, разделительный теплообменник, чистый контур потребителя



Когда схема В оправдана:

- **потребитель высоко.** На 10–15 м выше градирни обратная линия в схеме А работает под вакуумом: пульсации, подсос воздуха через уплотнения, перелив при отказе клапана противодавления;
- **потребитель не терпит воду, контактирующую с воздухом** — тонкие каналы, дорогие машины, требования к чистоте;
- **контур потребителя под высоким статическим давлением** — его нельзя разгрузить до атмосферы;
- **нужен гликоль у потребителя**, а градирню хочется оставить открытой.

Первая цена — температура. Теплообменник не передаёт тепло при нулевой разнице температур. Связка «открытая градирня + теплообменник» теряет 2–4 °С. Возьмём нижнюю границу — 2 К: потребителю по-прежнему нужно 28 °С, значит, градирня должна дать 26 °С при том же мокром термометре 22 °С. Недоохлаждение до мокрого термометра (approach) падает с 6 до 4 К.

Таблица 23 Схема В: разделительный теплообменник

Недогрев теплообменника, К	Градирня должна дать, °С	Approach градирни, К	Требуемая характеристика градирни относительно схемы А
0 (схема А)	28	6	×1,00
1	27	5	×1,23
1,5	26,5	4,5	×1,39
2	26	4	×1,58
3	25	3	×2,18

Потребителю нужно 28 °С, мокрый термометр 22 °С, охлаждение воды в градирне (range) 7 К, отношение расходов воды и воздуха $L/G = 1$.

Вторая цена — второй насос. Теперь каждый из двух насосов преодолевает сопротивление теплообменника со своей стороны.

Дано: 1000 м³/ч с каждой стороны, потеря давления в теплообменнике 50 кПа на сторону (допущение; реальная цифра — по подбору аппарата), КПД насосного агрегата 0,75.

Ход: мощность на одну сторону $N = Q \cdot \Delta p / \eta = (1000 / 3600) \cdot 50 / 0,75 = 18,5$ кВт; на две стороны — **37 кВт**. Проверка через напор: 50 кПа — это 5,1 м вод. ст.; 3,63 кВт на метр при 1000 м³/ч дают 18,5 кВт. Сходится.

Итог: только сопротивление теплообменника стоит 37 кВт насосной мощности, плюс градирня больше в 1,4–1,6 раза по требуемой характеристике. Больше пластин — меньше потеря давления и недогрев, но дороже аппарат; это предмет сравнения вариантов на стадии концепции.

Третья цена — обслуживание. Со стороны открытого контура теплообменник загрязняется той же взвесью, от которой его поставили защищать потребителя. Нужен фильтр перед аппаратом (см. раздел 6), байпас на время чистки или резервный аппарат.

ВНИМАНИЕ

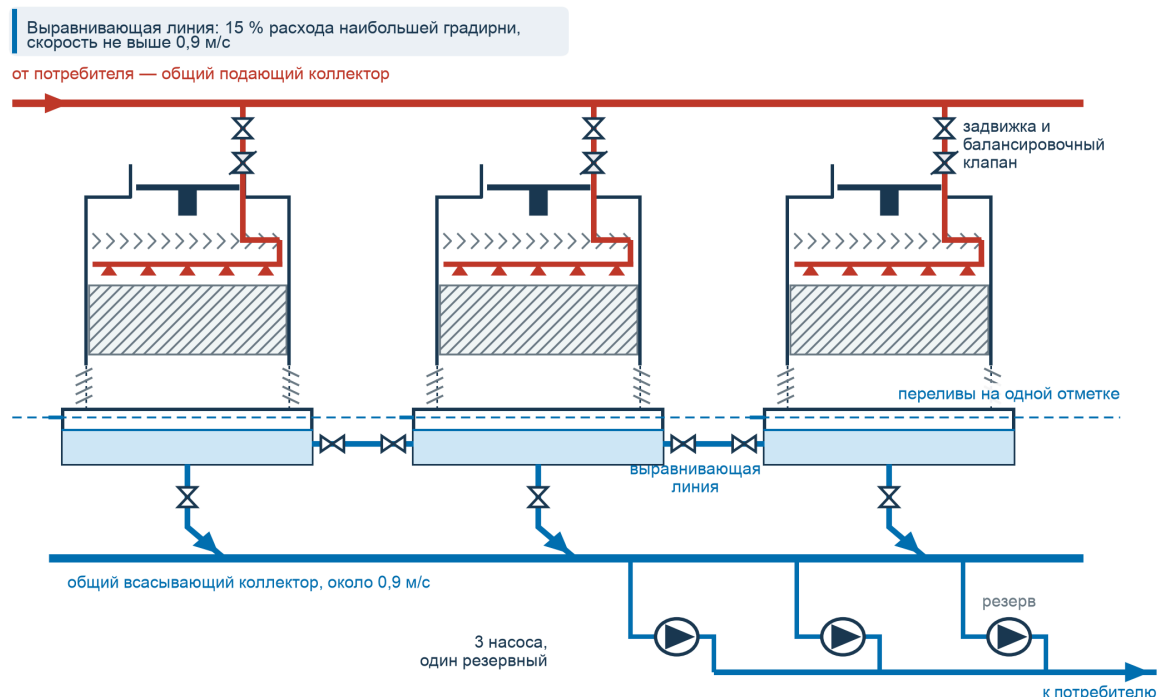
Градирню в схеме В подбирают на температуру с учётом недогрева теплообменника, а не на температуру потребителя. Иначе потребитель получит воду на 2 К теплее расчётной в первое же жаркое лето.

Если схему В выбирают ради чистоты контура или высоты, сравните её расчётом с закрытой градирней: там змеевик заменяет и градирню, и теплообменник, нет промежуточного недогрева и второго насоса.

5.5. Схема Г: несколько секций и градирен параллельно

Когда тепла больше, чем снимает одна градирня, или нужен резерв, ставят несколько секций или градирен на общих коллекторах. Одна секция — это остановка всего контура на время ремонта, поэтому две и больше — хорошая инженерная привычка, даже если норма этого уже не требует.

Рисунок 20 Схема Г: три градирни на общих коллекторах с выравнивающей линией между поддонами



Правила схемы Г:

- **выравнивающая линия (equalizer line) между поддонами** держит уровни одинаковыми. Отраслевая практика производителей градирен — расход линии 15 % от наибольшей градирни, разница уровней не больше 25 мм, скорость не выше 0,9 м/с. Для градирен NCT под неё заказывают опцию «дополнительное соединение в поддоне»;
- **переливы всех градирен строго на одной отметке** — иначе одна градирня постоянно переливает, а другая работает на низком уровне;
- **запорная арматура на каждой секции** — на входе, выходе и выравнивающей линии, иначе секцию не вывести в ремонт;
- **симметричные коллекторы и одинаковое сопротивление веток** к каждой градирне, отводы — косыми тройниками;
- **выравнивающая линия не исправляет разбаланс расходов.** Она выравнивает уровни. Неравный расход лечат балансировочными клапанами на подающих отводах.

Расчёт диаметра выравнивающей линии — в разделе 6.

Частичная нагрузка. Раздать воду на все секции и снизить скорость вентиляторов обычно выгоднее, чем останавливать секции, — но только выше минимального расхода на секцию: ниже появляются сухие зоны и отложения. Минимальный расход берут у производителя и записывают в режимы.

Зимний байпас. Любая из схем А–Г в холодном климате дополняется байпасом мимо оросителей (см. раздел 6). Полный обход градирни на пуске опасен для чиллера: температура растёт быстро, и машина может уйти в аварию по высокому давлению.

5.6. Закрытая градирня: внутренний контур

У закрытой градирни (closed circuit cooling tower) два независимых контура. Наружный — контур орошения: вода из поддона, насос орошения, форсунки, змеевик снаружи. Внутренний — технологическая жидкость, которая идёт внутри змеевика от потребителя и обратно. Свободной поверхности во внутреннем контуре нет, отсюда три следствия:

- прирост объёма при нагреве некуда деть, кроме расширительного бака;
- давление в каждой точке задаёт проектировщик: наверху выше атмосферного, внизу ниже допустимого для самого слабого элемента;
- воздух сам не уходит — его выводят из верхних точек.

Производитель отвечает за змеевик до фланцев, проектировщик — за всё остальное, поэтому строку опросного листа «давление в контуре и располагаемый напор» пустой не оставляют.

Рисунок 21 Внутренний контур закрытой градирни: бак на всасе насосов, подпитка, воздухоотводчики, сепаратор, байпас



Вода или гликоль — по трём вопросам.

1. Будет ли контур стоять при минусе с остановленным насосом? Остановки на выходные, сезонная работа, отключения без резервного питания — вода в змеевике на морозе замёрзнет за часы.
2. Допускает ли технология гликоль? Пищевые производства часто допускают только пропиленгликоль, фармацевтика может не допускать ничего, кроме воды. Ответ даёт технолог, а не проектировщик.
3. Сколько стоит эксплуатация? Гликоль хуже переносит тепло: нужна градирня больше и насос мощнее. Градирню под гликоль подбирают заново по программе подбора, а не «плюс 10 % на всякий случай».

Пример на типовом объекте: при потере давления в контуре 250 кПа и КПД 0,75 насос на воде берёт 92,6 кВт. На 30 % этиленгликоле расход растёт в 1,075 раза, потеря давления — до 318 кПа, мощность — до 126,6 кВт: **плюс 34 кВт**. Против этой цифры стоят автоматика защиты змеевика, резервное питание насоса и узел аварийного слива. Третий вариант — гликоль только в контуре градирни и теплообменник к потребителю, с потерей 2–4 К.

По данным производителей градирен, 30 % раствор этилен- или пропиленгликоля защищает до $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, кристаллизация начинается с $-12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Концентрацию подбирают по зимней температуре площадки из СП 131.13330.2025 с запасом 3–5 К.

Расширительный бак. Принимает прирост объёма при нагреве, отдаёт жидкость при остывании и держит давление. Ставят мембранный бак: открытый бак с атмосферой приносит кислород, и змеевик ржавеет изнутри. Бак подключают **на всас циркуляционного насоса** — в точке неизменного давления. Тогда при пуске насоса давление в контуре только растёт и верхняя точка не уходит в вакуум. Бак на нагнетании при напоре 25–30 м проваливает верх змеевиков ниже атмосферы.

Объём считают по формуле ASHRAE (HVAC Systems and Equipment, глава о водяных системах):

$V_t = V_s \cdot [(v_2/v_1 - 1) - 3\alpha \cdot \Delta t] / (1 - P_1/P_2)$, давления P_1 и P_2 — **абсолютные**.

Пример. Объём системы 40 м^3 , вода, $5...45\text{ }^{\circ}\text{C}$, верх змеевика на 18 м выше бака, предохранительный клапан 6 бар изб.

1. Расширение воды 0,99 %, минус расширение стальных труб 0,14 %: чистое 0,85 %, $V_e = 40 \times 0,0085 = 0,34\text{ м}^3$.

2. P_1 = статика 1,8 + запас 0,5 = 2,3 бар изб. = 3,3 бар абс. P_2 = 6 – 0,5 = 5,5 бар изб. = 6,5 бар абс.

3. Доля полезного объёма $1 - 3,3 / 6,5 = 0,49$; $V_t = 0,34 / 0,49 = 0,69\text{ м}^3$.

4. Проверка: с избыточными давлениями вышло бы $0,59\text{ м}^3$ — на 15 % меньше. Это самая частая ошибка. Давление в верхней точке холодного контура $2,3 - 1,8 = 0,5$ бар изб. — воздух внутрь не пойдёт.

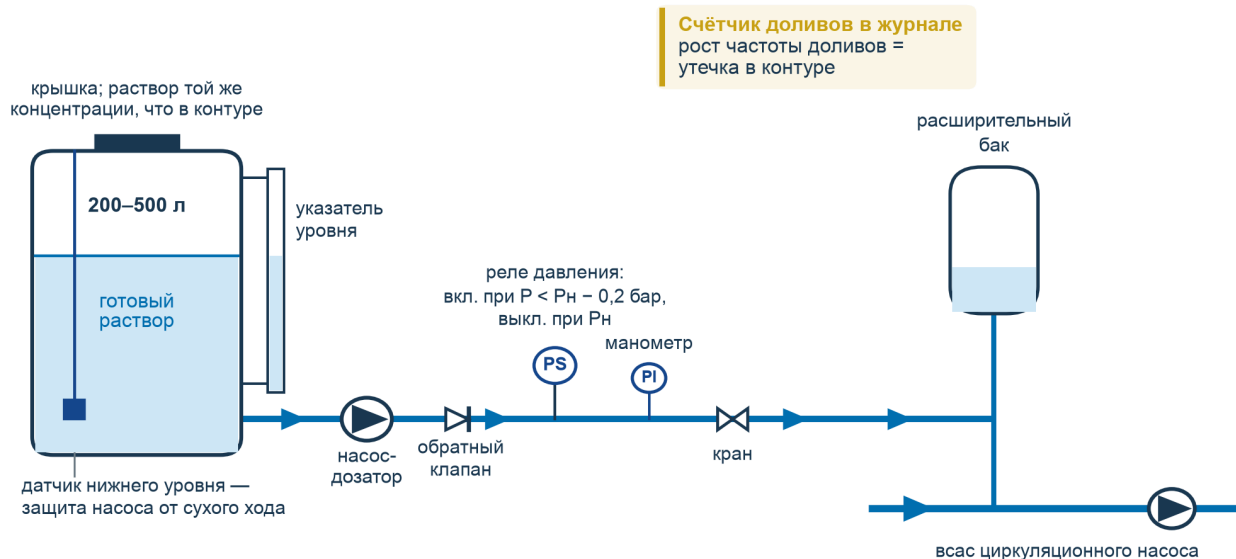
На 30 % этиленгликоле при $-14...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ тот же бак выходит **$1,8\text{ м}^3$** — в 2,6 раза больше.

ВНИМАНИЕ

Кран между баком и контуром — только опломбированный. Закрытый кран превращает бак в декорацию: следующий нагрев — и предохранительный клапан сбрасывает жидкость, на гликоле — в дренаж.

Подпитка и станция долива. На воде подпитку заводят в линию бака: защита от обратного потока, редуктор на начальное давление и счётчик — кубометры подпитки в месяц означают течь. Гликолевый контур водопроводом подпитывать нельзя: за сезон 30 % раствор превращается в 25 %, и защита сползает с -14 к $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ставят станцию долива — ёмкость с готовым раствором той же концентрации, насос и реле давления.

Станция долива гликоля: давление держит готовый раствор



Воздухоотводчики и сепаратор. Автоматический воздухоотводчик (automatic air vent) ставят во всех верхних точках через отсечной кран. Сепаратор воздуха и шлама при перепаде 5–10 К ставят на обратной линии перед всасом, рядом с баком, где давление ниже всего.

Байпас и защита змеевика. На воде через змеевик всегда должен идти минимальный расход по паспорту, а температура на его выходе — не ниже 7 °С (для оцинкованного змеевика ориентир 10 °С, если паспорт не говорит иначе). Полный обход градирни зимой оставляет в змеевике неподвижную воду на морозе. Поэтому байпас ставят в тёплой зоне с контролем минимального расхода, а на случай отказа — аварийный слив: отсечные клапаны закрываются, дренаж в нижней точке открывается при пропадании питания, клапан срыва вакуума наверху впускает воздух. Слив — аварийная мера: пустой влажный змеевик ржавеет изнутри быстрее заполненного.

ВАЖНО

Не проектируйте закрытую градирню на воде с зимней работой без трёх вещей: минимального расхода через змеевик, датчика температуры на выходе змеевика и аварийного слива с клапаном срыва вакуума. Если заказчик не хочет ничего из этого — гликоль или промежуточный теплообменник. Размороженный змеевик меняется целиком.

5.7. Сравнение схем

Таблица 24 Сравнение схем

Критерий	А: насос из поддона	Б: бак в помещении	В: разделительный теплообменник	Г: несколько градирен	Закрытая градирня
Главное условие	Трубы и потребитель ниже поддона	Круглый год, воду на улице держать нельзя	Потребитель высоко, грязная вода недопустима	Нагрузка больше одной градирни или нужен резерв	Чистый контур, гликоль, потребитель высоко

Критерий	А: насос из поддона	Б: бак в помещении	В: разделительный теплообменник	Г: несколько градирен	Закрытая градирня
Энергия насосов	Минимальная	+3,6 кВт на каждый метр потерянного напора при 1000 м ³ /ч	+37 кВт при 50 кПа на сторону и 1000 м ³ /ч	Как у базовой схемы	Насос внутреннего контура плюс насос орошения
Размер градирни	Базовый	Базовый	×1,4–1,6 при недогреве 1,5–2 К	Базовый суммарно	По подбору, на гликоле больше
Зима	Байпас, обогрев поддона или серия без обмерзания	Проще всего	Как у А или Б	Как у А или Б, плюс отключение секций	Гликоль или защита змеевика и аварийный слив
Главный риск	Перелив при остановке, кавитация	Воздух и байпасная вода во всасе без перегородки	Загрязнение теплообменника, недогрев	Разбаланс, застой в выравнивающих линиях	Ошибка в расширительном баке, размораживание змеевика

На принципиальной схеме стадии П обязательны отметки рабочего уровня и перелива поддона или бака, осей насосов, потребителей и верха распределения, а также зимние решения. Для закрытой градирни добавляют объём системы, давление накачки бака, уставку предохранительного клапана, марку и концентрацию гликоля, минимальный расход через змеевик и уставку аварийного слива. Состав арматуры и приборов — в разделе 6.

6. Обязка

Обвязка — это всё, что стоит между фланцем градирни и потребителем: всасывание насоса, выравнивающие линии, байпас, перелив, дренаж, подпитка, датчики уровня, фильтры, арматура и приборы. Почти все проблемы, с которыми эксплуатация приходит к производителю градирни, родом отсюда, а не из самой градирни. Схемы, к которым относится обвязка, — в разделе 5.

6.1. Патрубки и условные проходы

Габаритный чертёж каждой модели NCT показывает пять патрубков: вход горячей воды в распределение, выход охлаждённой воды из поддона, подпитку, перелив и дренаж. Прямые и ответные фланцы входят в базовую комплектацию. Выход у части исполнений направлен вниз — это видно в обозначении чертежа и влияет на трассировку всасывающей линии.

Таблица 25 Патрубки и условные проходы

Модель (пример)	Вход, Ду	Выход, Ду	Подпитка, Ду	Перелив, Ду	Дренаж, Ду
VR-0-1	125	150 или 200 (вниз)	50	80	50
VR-1-1, VR-1-2, VR-1-3	150	200	50	80	50
VR-3-4	150	250 (вниз)	50	80	50
VR-2-3, VR-1S-6	200	250 (вниз)	50	80	50
VR-2S-3	200	350 (вниз)	50	80	50
VA-4SW-3	250	400 (вниз)	50	80	50
VA-8X-2	200 × 4	200 × 4 (вниз)	50	80	50
HR-1S-3	125	200 (вниз)	50	80	50
Закрытые VRC-1-4, VRC-1-5, e-VRC-3-2	100 × 2 (змеевик)	100 × 2 (змеевик)	50	80	50

По габаритным чертежам NCT. Рабочие размеры и отметки патрубков — всегда по чертежу выбранной модели и исполнения.

Из таблицы видно правило, которое стоит перенести в проект: **выход на одну-две ступени больше входа**. Вход работает под напором насоса, выход — самотёком или на всас, где скорость должна быть низкой: на выходе из градирни — не больше 1,5 м/с. Сужать трубу сразу за выходным фланцем до диаметра входа — ошибка: растут потери на всасе и падает кавитационный запас. Переход на всасе делают эксцентрическим, «плоским верхом», чтобы под верхней образующей не собирался воздух.

У многосекционных градирен (VA-8X-2) патрубков входа и выхода несколько. Каждый подключают к коллектору отдельным отводом с запорной арматурой, а ветки делают одинаковыми по сопротивлению.

6.2. Всасывание насоса

На всасе решается, будет ли насос работать тихо десять лет или кавитировать с первого лета. Правила:

- насос — **ниже уровня поддона**, всас короткий, с прямым участком 5–10 диаметров перед насосом;
- на всасе — только то, что необходимо: противоворонковое устройство в поддоне, затвор, эксцентрический переход. **Сетчатый фильтр на всасе не ставят** — его место на нагнетании;
- насосная выше поддона — ошибка компоновки. Нужна тёплая насосная на зиму — это схема с выносным баком (см. раздел 5).

Противоворонковое устройство (anti-vortex). Если уровень над выходным патрубком мал, над ним закручивается воронка, и воздух идёт в колесо даже при хорошем кавитационном запасе. Минимальное погружение (submergence) по ANSI/HI 9.8-2024:

$$S = D \times (1 + 2,3 \times Fr), Fr = v / \sqrt{g \times D},$$

где D — диаметр входного сечения, v — скорость в нём. Формула действует при скорости выше 0,6 м/с; S отсчитывают от минимального уровня до входного сечения.

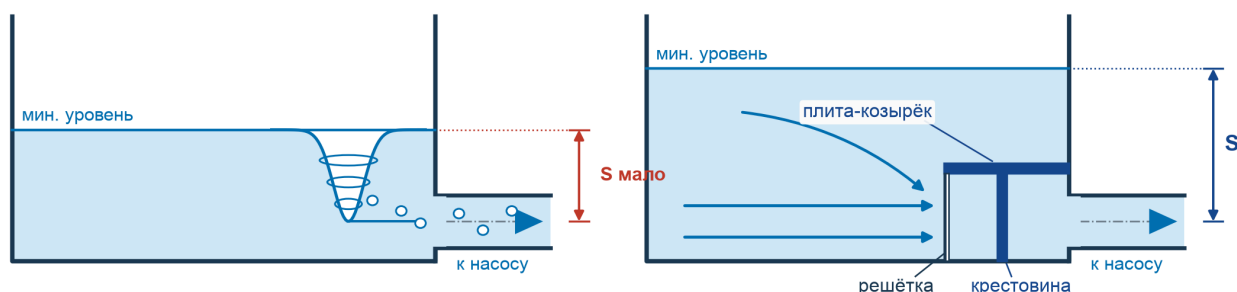
Пример: один выход DN500 на 1000 м³/ч. Скорость 1,41 м/с, $Fr = 1,41 / \sqrt{(9,81 \times 0,5)} = 0,64$, $S = 0,5 \times (1 + 2,3 \times 0,64) = 1,24$ м. Это больше, чем обычно стоит воды в поддоне. Увеличение патрубка до DN600 даёт $S = 1,16$ м — выигрыш всего 8 см. Погружение уменьшают дроблением потока на несколько выходов (два DN400 по 500 м³/ч — 0,91 м), противоворонковым устройством по данным его производителя или прямком.

Рисунок 23 Выход поддона без противоворонкового устройства и с ним

Выход поддона: без противоворонкового устройства и с ним

✗ S меньше расчётного — воронка, воздух идёт в колесо

✓ S по расчёту и устройство: поверхность ровная, вода входит горизонтально



$S = D(1 + 2,3Fr)$ по ANSI/HI 9.8-2024 — от минимального уровня до входа. Один выход DN500 на 1000 м³/ч ($v = 1,41$ м/с, $Fr = 0,64$): $S = 1,24$ м.

Сетчатый фильтр — почему не на всасе. Располагаемый кавитационный запас (NPSHa) для открытого контура:

$$NPSHa = (p_{атм} - p_{п}) / (\rho \times g) + H_{з} - h_{вс},$$

где $p_{п}$ — давление насыщенного пара при самой горячей воде, $H_{з}$ — превышение зеркала над осью насоса, $h_{вс}$ — все потери на всасе.

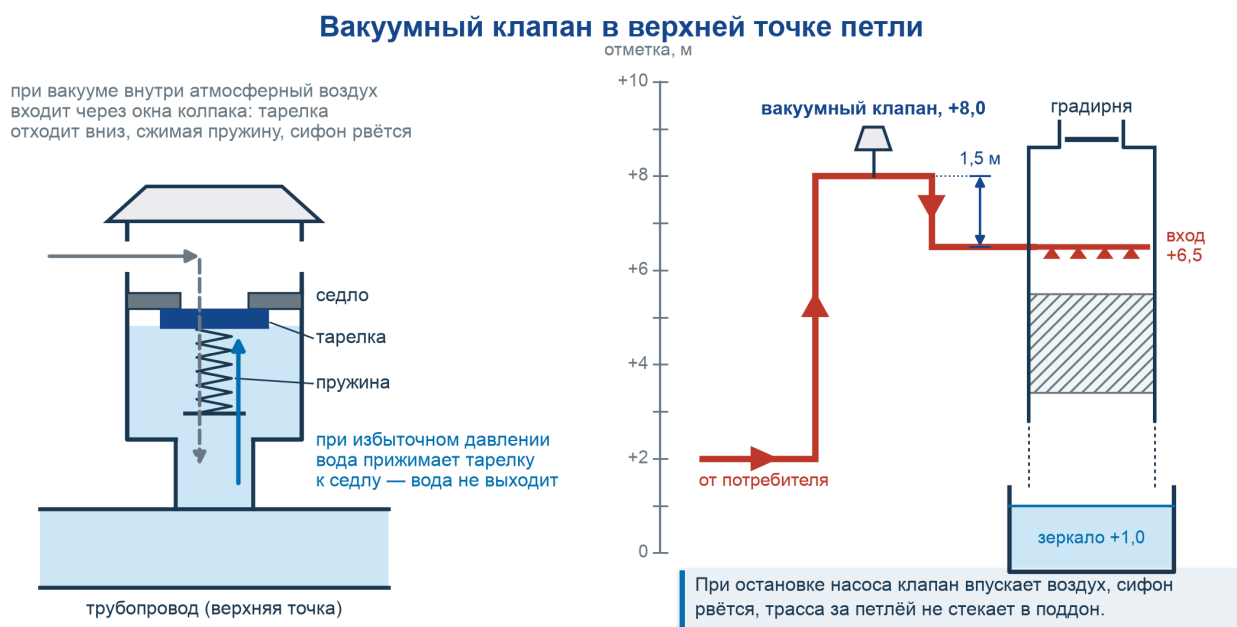
Пример: площадка на высоте 150 м, вода 35 °С, зеркало на 0,6 м выше оси насоса, потери на всасе 0,25 м. Атмосфера 99,5 кПа, давление пара 5,63 кПа: $(99,5 - 5,63) / (994 \times 9,81) = 9,63$ м; $NPSHa = 9,63 + 0,6 - 0,25 = 9,98$ м. Если на всас поставить сетчатый фильтр с перепадом 3 м при уставке промывки, NPSHa падает до 6,98 м. Насосу с требуемым запасом 6,5 м на правом краю характе-

ристики остаётся 1,07 — он кавитирует каждый раз, когда соседний параллельный насос останавливается. Запас по отрасли берут из ANSI/HI 9.6.1-2024 и указывают редакцию в записке. Проверку делают при самой горячей воде, которая может прийти в поддон, и при минимальном уровне.

Обратный клапан ставят на нагнетании каждого насоса. Помните, что в оборотной воде седло зарастает, и через несколько месяцев клапан начинает пропускать. Сток при остановке на него не считают (см. раздел 5).

Вакуумный клапан (vacuum breaker). Если трасса поднимается выше входа в распределение, в её верхней точке при остановке насоса образуется сифон, и вода из трассы тянется в поддон. Вакуумный клапан в верхней точке петли впускает воздух и рвёт сифон. Предел сифона на равнине при воде 30–40 °С — около 9,7–10 м; выше вода вскипает и столб рвётся. Автоматические воздушники ставят только там, где давление всегда выше атмосферного, иначе они подсасывают воздух.

Рисунок 24 Вакуумный клапан в верхней точке петли: срыв сифона при остановке насоса



Если градирня оказалась ниже потребителя, в верхней точке обратной линии давление ниже атмосферного. В типовых схемах обвязки НСТ для этого случая предусмотрены три элемента: баростатический клапан, который держит давление выше давления насыщения (время хода 15–30 с, регулятор типа «пропорционально-интегральный»); компенсационный резервуар в самой высокой точке обратной трубы объёмом около 30–60 секунд расхода — против гидроудара и колебаний давления; антивакуумный клапан в верхней точке подающей линии.

6.3. Параллельные градирни и выравнивающая линия

Когда несколько градирен работают на общие коллекторы, задач две, и решают их разными средствами.

Распределение расхода. Каждая градирня должна получать расход в пределах, которые допускает производитель: ниже минимума — сухие зоны и отложения, выше — перелив распределения или превышение давления на входе. Средства — симметричные коллекторы, балансировочный

клапан и расходомер на входе каждой градирни, косые тройники. Обязательно проверьте режим с выключенной градирней: остальные получают больше воды.

Выравнивание уровней. Выравнивающая линия между поддонами — расход 15 % от наибольшей градирни, разница уровней не больше 25 мм, скорость не выше 0,9 м/с, подключение сбоку поддона. Застойных зон в ней быть не должно (СТИ WTB-148): удобно брать из неё продувку или всас боковой фильтрации. Материал — ПВХ или стеклопластик: стальная линия без нормальной водоподготовки зарастает накипью.

Расчёт выравнивающей линии.

Дано: две градирни по 500 м³/ч, поддоны на одной отметке, расстояние 10 м, на линии два затвора. Сумма местных сопротивлений: вход 0,5 + выход 1,0 + два затвора 0,6 = 2,1.

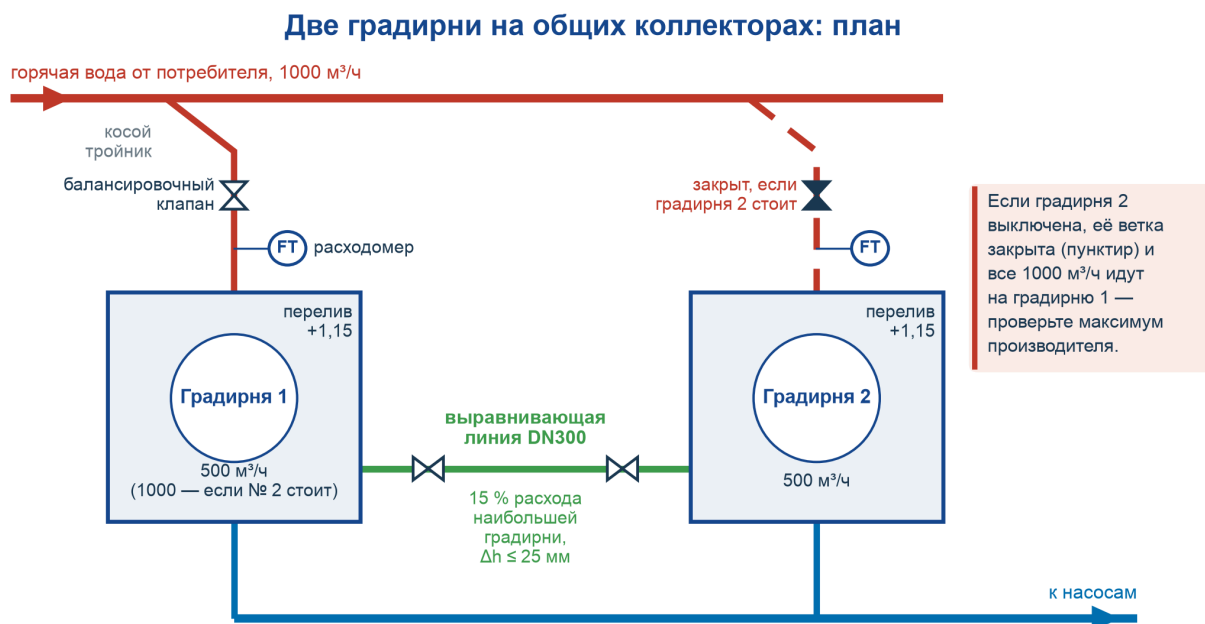
Ход:

1. Расход линии: $0,15 \times 500 = 75 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0208 \text{ м}^3/\text{с}$.
2. По скорости 0,9 м/с хватает DN200: $v = 0,66 \text{ м/с}$.
3. Разница уровней для DN200: $v^2/2g = 0,0224 \text{ м}$; $\lambda L/D = 0,018 \times 10 / 0,2 = 0,9$; $\Delta h = (0,9 + 2,1) \times 0,0224 = \mathbf{67 \text{ мм}}$ — больше 25 мм.
4. DN250: $\Delta h = (0,68 + 2,1) \times 0,0092 = 26 \text{ мм}$ — на границе. DN300: **12 мм**.

Итог: DN300. По скорости хватило бы DN200, но решает разница уровней.

Таблица 26 Параллельные градирни и выравнивающая линия

Наибольшая градирня, м ³ /ч	15 % расхода, м ³ /ч	Ду по скорости 0,9 м/с	Ду по разнице уровней 25 мм (L = 10 м, $\Sigma \zeta = 2,1$)
250	37,5	125–150	200
500	75	200	300 (250 на границе)
1000	150	250–300	400 (350 на границе)
2000	300	400	500



6.4. Байпас

В типовых схемах обвязки НСТ встречаются два вида байпаса, и выбирать между ними надо осознанно.

- **Байпас градирни.** Трёхходовой клапан отводит часть воды мимо градирни: расход через потребителя постоянный, через градирню — переменный. Типично для охлаждения конденсаторов холодильных машин. Риск — зимой на малом расходе обмерзает система распределения градирни.
- **Байпас потребителя.** Расход через градирню остаётся постоянным при любой нагрузке, а регулирует переключатель у потребителя. Риск обмерзания распределения ниже. Эту схему рекомендуют и в случае, когда вода от потребителя горячее 60 °С.

На практике чаще комбинируют: частотное регулирование вентиляторов плюс байпас. Байпасный клапан ставят ниже кровли, в тёплой зоне; на байпасной линии — балансировочный клапан, настроенный на сопротивление и подъём ветки градирни, тогда сумма расходов при переключении клапана почти постоянна. Участок трубы над кровлей отсекают задвижкой и снабжают дренажным краном в нижней точке.

6.5. Перелив и дренаж

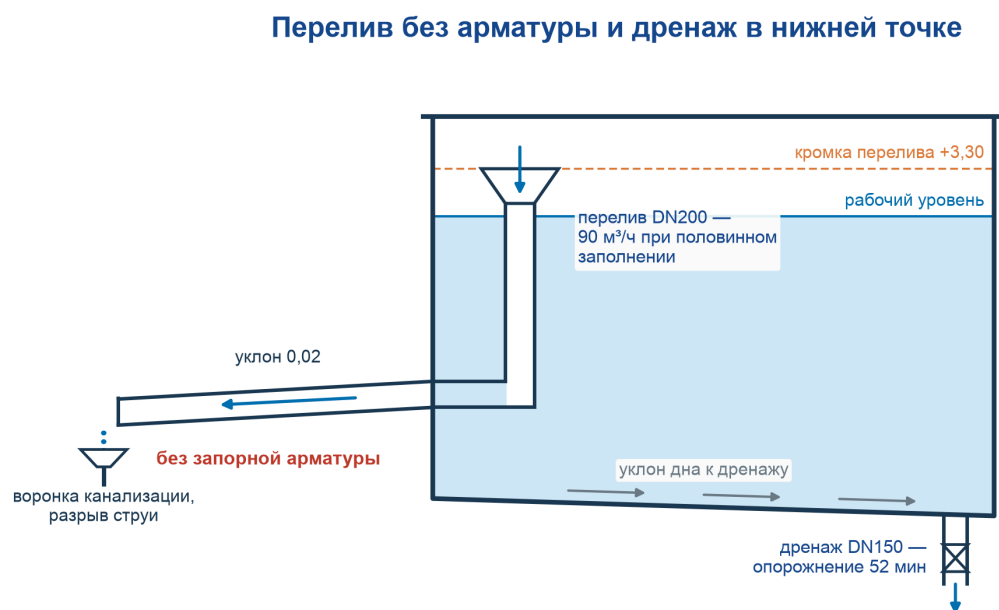
Перелив (overflow) рассчитывают не на нормальный уровень, а на аварию: клапан подпитки открыт полностью при максимальном давлении в сети, насос стоит. Перелив должен отвести этот расход самотёком. Проверка — по формуле Маннинга: $Q = (1/n) \times A \times R^{2/3} \times i^{1/2}$, $n = 0,012$ для гладкой трубы.

Пример для выносного бака: максимальный расход клапана подпитки по паспорту — 40 м³/ч, уклон 0,02, труба заполнена наполовину. DN150 пропускает 42 м³/ч — запаса нет, воронка, решётка и отводы его съедят. DN200 — 90 м³/ч. **Принимаем DN200.**

Перелив выводят с разрывом струи в дренажную систему, а не глухо в канализацию, иначе стоки вернуться в бак. **Запорная арматура на переливе не допускается** — ни на поддоне, ни на баке.

Дренаж — в нижней точке днища, дно с уклоном к нему. Время опорожнения бака 40 м² в плане с уровнем 3,3 м: через DN100 — 1,9 ч, через DN150 — 52 минуты. Если регламент чистки требует опорожнить бак за час, нужен DN150. Расход дренажа и промывки фильтров согласуют с разделом ВК.

Рисунок 26 Перелив без арматуры и дренаж в нижней точке



6.6. Подпитка и датчики уровня

Подпитка (makeup) возмещает испарение, продувку и капельный унос: $M = E + B + D$.

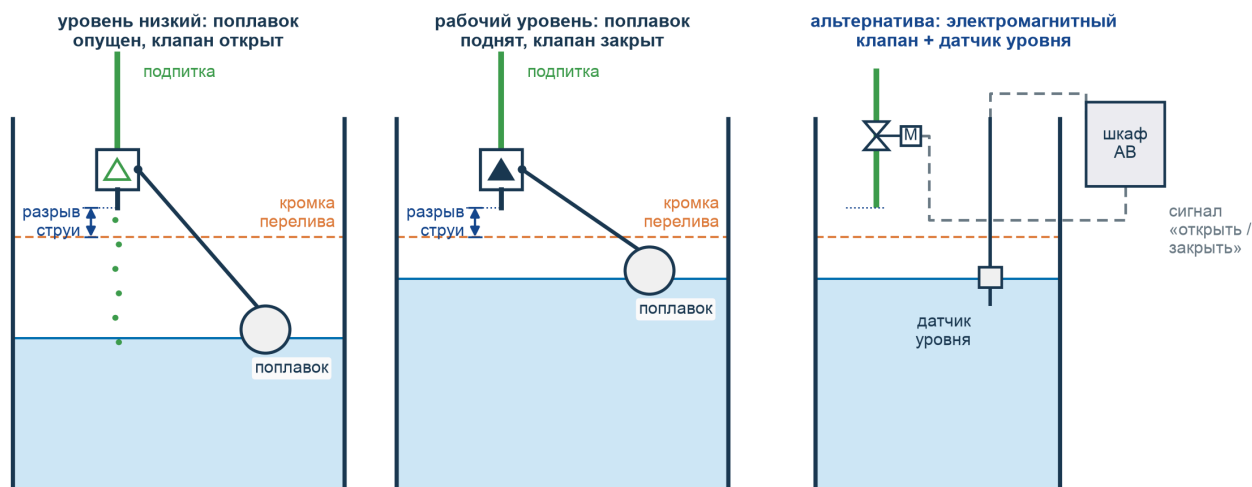
Пример: 1000 м³/ч, охлаждение воды 7 К, циклы упаривания $N = 3$, унос 0,005 % (верхняя граница ASHRAE для исправных каплеуловителей).

1. Испарение $E = 0,0018 \times 1000 \times 7 = 12,6$ м³/ч (летний максимум 0,18 % на 1 К по данным производителей градирен).
2. Продувка $B = E / (N - 1) = 6,3$ м³/ч.
3. Унос $D = 0,05$ м³/ч.
4. $M = 18,95$ м³/ч — **клапан подпитки не меньше 19 м³/ч** при минимальном давлении в сети.

Первое заполнение таким клапаном может занять часы; если это долго, предусмотрите отдельную линию заполнения.

Чем управлять подпиткой. Поплавковый клапан прост и не требует электричества, но на большом расходе дребезжит, изнашивается и становится первой причиной переливов. Электромагнитный или моторный клапан по датчику уровня точнее и даёт сигналы в автоматику; в градирнях NCT применяется соленоидный клапан подпитки и электронная система поддержания уровня, которую можно поставить и в градирню, и в выносной бак. На выходе трубы подпитки — **разрыв струи (air gap) над кромкой перелива**, чтобы обратная вода не попала в водопровод; величину берут по нормам раздела ВК.

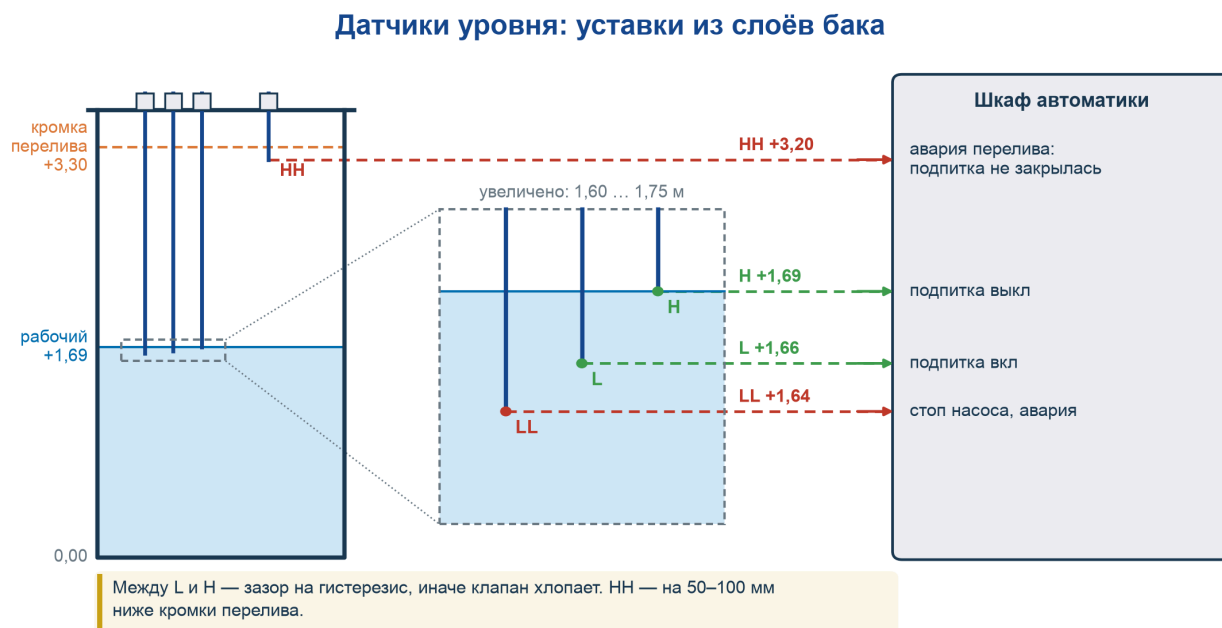
Подпитка: поплавковый клапан и разрыв струи над переливом



Уставки уровня считают из слоёв поддона или бака:

- **LL — аварийно низкий** = минимальный уровень по погружению всаса: стоп насоса, авария;
- **L — включение подпитки** — чуть ниже рабочего уровня;
- **H — отключение подпитки** = рабочий уровень;
- **HH — аварийно высокий** — на 50–100 мм ниже кромки перелива: сигнал «подпитка не закрылась».

Между L и H оставляют зазор на гистерезис, иначе клапан хлопает. ТЭН поддона или бака включают только через термостат и реле уровня: без воды ТЭН сгорает.



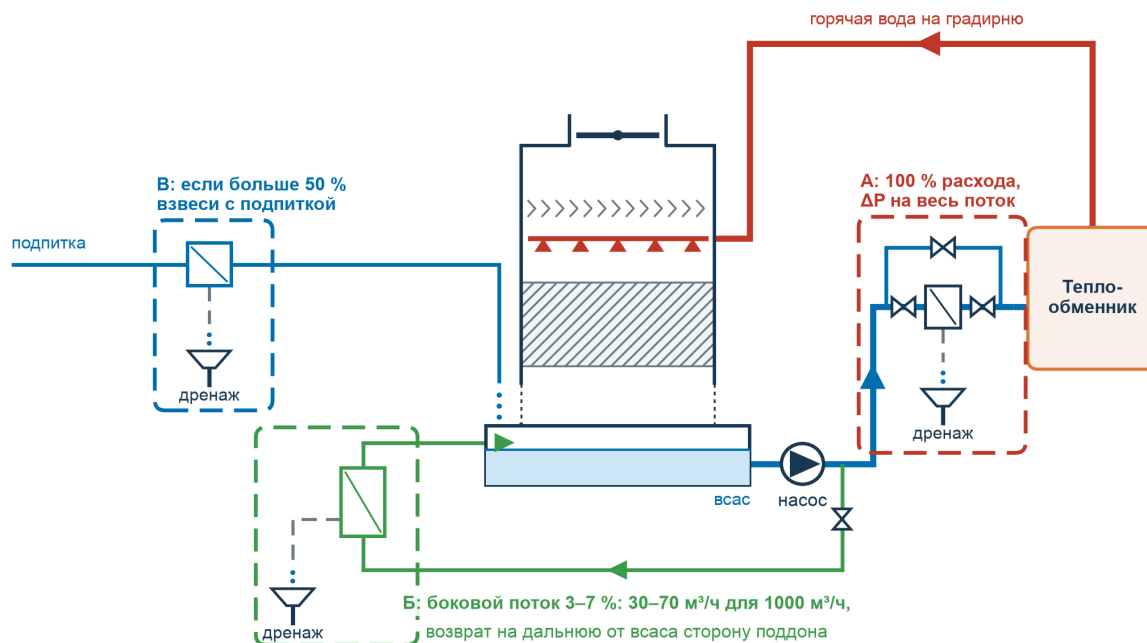
6.7. Фильтрация: полный поток и боковой поток

Открытая градирня работает как воздушный скруббер: взвесь приходит с воздухом, с подпиткой и рождается в самом контуре, 90 % частиц мельче 10 мкм. Химическая водоподготовка взвесь не убирает, поэтому фильтр и водоподготовка в проекте идут парой.

Три места для фильтра:

- **полный поток** — фильтр на всём расходе, с байпасом. Нужен, чтобы защитить конкретный аппарат с узкими каналами (пластинчатый теплообменник, форсунки) или задержать крупный мусор при аварии. Ставят на нагнетании, перед защищаемым аппаратом. В самой градирне NCT стоит сетчатый фильтр грубой очистки в поддоне — от листвы и крупного мусора;
- **боковой поток (side-stream filtration)** — через фильтр постоянно идёт 3–7 % расхода, и за сутки весь объём системы проходит через него несколько раз. Забился фильтр — на потребителе это не сказывается. Профильный документ — СТИ WTG-122 (2021);
- **подпитка** — если больше половины взвеси приходит с подпиткой (паводок, скважина с песком), дешевле фильтровать её.

Три места для фильтра в открытом контуре



Расчёт бокового потока — берут наибольшее из двух оценок:

1. Доля от циркуляции: 3–7 %; для 1000 м³/ч — 30–70 м³/ч.
2. Обороты объёма: 6–8 раз в сутки. При объёме системы 167 м³ (10 минут циркуляции) — $6 \times 167 / 24 = 41,7$ м³/ч, при 8 оборотах — 55,6 м³/ч.

Итог для типового объекта: 50 м³/ч — 5 % расхода и 7,2 оборота объёма в сутки. Если в систему добавили большой бак и объём вырос до 333 м³, тех же 5 % хватит лишь на 3,6 оборота; для 7 оборотов нужно уже 97 м³/ч. Проектировщик, который посчитал только проценты, заложит фильтр вдвое меньше нужного. Ниже циркуляции около 100 м³/ч узел боковой фильтрации обычно не окупается — хватает решётки в поддоне.

Правила узла:

- отбор — с напора основного насоса (тогда 3–7 % закладывают в подбор насоса) или своим насосом, если давления мало или фильтру нужен постоянный расход; для нескольких градирен — из выравнивающей линии;
- возврат — на противоположную от всаса сторону поддона или бака и не струей в дно, иначе фильтр гоняет одну и ту же воду и взмучивает ил;
- самопромывному сетчатому фильтру нужно на входе 2,4–10 бар, после фильтра — не меньше 1,5–2,5 бар; точные цифры — по паспорту;
- время хода клапанов промывки — не меньше 3–5 секунд, иначе гидроудар и вынос загрузки;
- промывка уходит из контура как продувка. Многослойный фильтр с промывкой 5–10 % на типовом объекте не даст поднять циклы упаривания выше четырёх — проверьте это до выбора типа фильтра.

6.8. Арматура и приборы на узле

Минимальный набор, без которого узел не наладить и не обслужить:

- **запорная арматура** на входе и выходе каждой градирни, на выравнивающей линии, до и после каждого насоса и фильтра; **обратный клапан** на нагнетании каждого насоса; **балансировочный клапан** на входе каждой градирни и на байпасе;
- **манометры** на всасе и нагнетании каждого насоса, до и после фильтров и теплообменника; на фильтре — дифференциальное реле, по нему запускается промывка;
- **термометры** на входе и выходе градирни и у потребителя;
- **расходомер** на общей линии и на ветке каждой градирни;
- **кондуктометр** для управления продувкой и точки дозирования реагентов;
- **краны отбора проб** до и после фильтра и в контуре — без замера взвеси эффект фильтра не доказать;
- **дренажные краны** в нижних точках и воздушники в верхних точках, где давление всегда выше атмосферного.

6.9. Сводка: элемент обвязки, зачем он и типовая ошибка

Таблица 27 Сводка: элемент обвязки, зачем он и типовая ошибка

Элемент	Зачем	Типовая ошибка
Выход из поддона	Подать воду к насосу без воздуха	Труба сужена до диаметра входа, скорость больше 1,5 м/с
Противоворонковое устройство	Не дать воронке затянуть воздух	Погружение не проверено по ANSI/HI 9.8, «крест есть в комплекте»
Сетчатый фильтр	Защитить насос и аппараты от мусора	Поставлен на всас — кавитация при остановке соседнего насоса
Обратный клапан	Не дать потоку пойти назад через стоящий насос	На него рассчитывают сток при остановке
Вакуумный клапан	Рвать сифон в верхней точке	Не поставлен, трасса стекает в поддон при каждой остановке
Выравнивающая линия	Держать уровни поддонов одинаковыми	Подобрана только по скорости, переливы на разных отметках
Байпас	Защитить от переохлаждения и обмерзания	Полный обход градирни на пуске, клапан выше зоны мороза
Перелив	Отвести воду при отказе подпитки и при стоке	Посчитан на нормальный уровень или перекрыт задвижкой
Дренаж	Опорожнить поддон или бак для чистки	Не в нижней точке, время опорожнения не проверено
Подпитка	Возместить испарение, продувку и унос	Нет разрыва струи, клапан подобран по среднему расходу
Датчики уровня	Управлять подпиткой и защищать насос и ТЭН	Нет зазора между L и H, ТЭН без защиты по уровню
Боковой фильтр	Держать взвесь в контуре в норме	Посчитан только в процентах, возврат рядом со всасом

Чек-лист раздела 6: обвязка

- ☐ Диаметры и отметки патрубков взяты с габаритного чертежа выбранной модели и исполнения.
- ☐ Насос ниже уровня поддона, всас короткий, без сетчатого фильтра, с прямым участком 5–10 диаметров.
- ☐ Погружение выходного патрубка посчитано по ANSI/HI 9.8-2024, противоворонковое устройство предусмотрено.
- ☐ NPSHa проверен при самой горячей воде, на высоте площадки и при минимальном уровне.
- ☐ В верхних точках трассы выше входа в распределение стоят вакуумные клапаны.
- ☐ Выравнивающая линия посчитана на 15 % наибольшей градирни и разницу уровней 25 мм, переливы на одной отметке.
- ☐ Тип байпаса выбран осознанно, клапан в тёплой зоне, участок над кровлей отсекается и сливается.
- ☐ Перелив рассчитан на полный расход клапана подпитки при максимальном давлении, без арматуры, с разрывом струи.
- ☐ Клапан подпитки подобран на максимум испарения плюс продувку и унос, есть разрыв струи.
- ☐ Уставки LL, L, H, HH назначены из слоёв поддона или бака, ТЭН заблокирован по уровню.
- ☐ Боковой поток посчитан и по доле расхода, и по оборотам объёма; возврат на дальнюю от всаса сторону.
- ☐ На схеме показаны манометры, термометры, расходомеры, кондуктометр и точки отбора проб.

Правило прохода: отмечены все пункты про всас, перелив и подпитку; по остальным — не больше одного пропуска с письменным обоснованием в пояснительной записке. Перелив с запорной арматурой или сетчатый фильтр на всасе — раздел не выпускать.

7. Зима

Лёд на градирне появляется там, где холодный воздух встречает мало воды или воду, которая стоит. Поэтому все зимние меры сводятся к трём правилам: не давать воде переохладиться, не оставлять участков без потока и держать в тепле то, что стоит. Ниже — как эти правила превращаются в схему, арматуру и строки задания на автоматику.

Зимние решения меняют принципиальную схему: появляются байпас, дренажи, обогрев, иногда тёплый бак. Их место закладывают на стадии П, а не на пусконаладке.

7.1. Минимальная температура воды

Нижняя граница для открытой градирни по руководствам производителей — **5 °C** на выходе. Реальная уставка обычно выше: её задаёт потребитель. Конденсатору чиллера или технологическому аппарату нужна вода не холоднее определённой температуры, и именно эта цифра идёт в задание на автоматику.

Для закрытой градирни правило другое: защищают змеевик, а не поддон. Без гликоля вода на выходе змеевика — **не ниже 7 °C** (у ряда производителей 7,2 °C), через змеевик постоянно идёт минимальный расход по паспорту. Некоторые производители ограничивают выход из закрытой градирни в целом 10 °C — берите более строгое значение из паспорта модели.

7.2. Регулирование вентиляторов: частотник, каскад, отключение секций

Первое, чем градирня отвечает на холод, — вентилятор. Порядок такой: сначала снижают скорость, потом останавливают вентиляторы, и только потом открывают байпас.

Ограничения для задания на автоматику:

- частотный преобразователь (ЧРП) — не ниже **30 %** номинальной скорости, то есть 15 Гц при 50 Гц;
- на половинной скорости градирня даёт около **60 %** производительности, на 2/3 — около **70 %**;
- не больше **6 пусков в час** на двигатель, пауза при смене скорости — не меньше **15 с**;
- сначала включается насос, потом вентилятор.

Сколько частотников ставить. Частотник на каждой секции многосекционной градирни обычно не окупается против ступенчатого включения вентиляторов (каскада). Если ожидается работа на малой нагрузке — ниже 50 % мощности одной секции, — частотник ставят на одну ведущую секцию: она включается первой и выключается последней, остальные секции работают ступенями. Обходная схема (bypass — работа двигателя от сети при отказе привода) обязательна, с переходом на включение-выключение вентилятора (Stanford, HVAC Water Chillers and Cooling Towers, с. 201).

ВНИМАНИЕ

Частотник и резонанс. Снижая обороты, вы снижаете и лопастную частоту вентилятора, и она может совпасть с собственной частотой площадки или перекрытия. Резонансные полосы находят на пусконаладке и задают частотнику как запретные зоны (skip frequencies, частоты пропуска). Подробно — раздел 8.4.

Отключение секций вместо уменьшения расхода. Частичный расход воды на все секции — плохая идея. Неполное орошение даёт сухие зоны, и в мороз они обрастают льдом по краям. Луч-

ше отключить секцию целиком запорной арматурой и слить её трубы, чем гонять по 40 % воды через все секции.

Ориентир для минимального расхода через насадку: летом — не меньше **25 %** расчётного (иначе на ней оседают соли и реагенты, и их вес проламывает насадку), зимой — не меньше **50 %** (иначе насадка обмерзает). Чтобы малый расход раздавался по всей насадке, в горячем бассейне ставят водосливные перегородки (weirs), их заказывают вместе с градирней.

Пример: градирня на 681 м³/ч летом может отдать в байпас до 511 м³/ч, зимой — до 341 м³/ч (Bell & Gossett ТЕН-1209А, с. 8, 28). Окончательные минимумы для конкретной модели даёт производитель.

Реверс вентилятора. Кратковременное вращение вентилятора в обратную сторону на низкой скорости сбивает лёд с жалюзи воздухозабора (ASHRAE HVAC Systems and Equipment, гл. 40). Применяют только если конструкция вентилятора и привода реверс допускает и по регламенту производителя — уточняйте для выбранной модели.

Последовательность зимнего регулирования — готовая строка для задания на автоматику:

Таблица 28 Регулирование вентиляторов: частотник, каскад, отключение секций

Шаг	Условие	Действие
1	t воды ниже уставки	снижать скорость вентиляторов до 30 %
2	на 30 % t всё ещё ниже уставки	останавливать вентиляторы по одному, не чаще 6 пусков в час
3	все вентиляторы стоят, t ниже уставки	плавно открывать байпас в поддон
4	t в поддоне ниже 4 °С при стоящем насосе	включать ТЭН, если уровень в норме
5	признаки льда на жалюзи	реверс на низкой скорости, если его допускает производитель

Сигналы, датчики и алгоритм в целом — раздел 9.

7.3. Зимний байпас и трёхходовой клапан

Когда вентиляторы уже стоят, а вода всё ещё переохлаждается, часть горячей воды пускают мимо оросителей. Это делают двумя способами, и их часто путают.

Таблица 29 Байпас в поддон и полный обход градирни

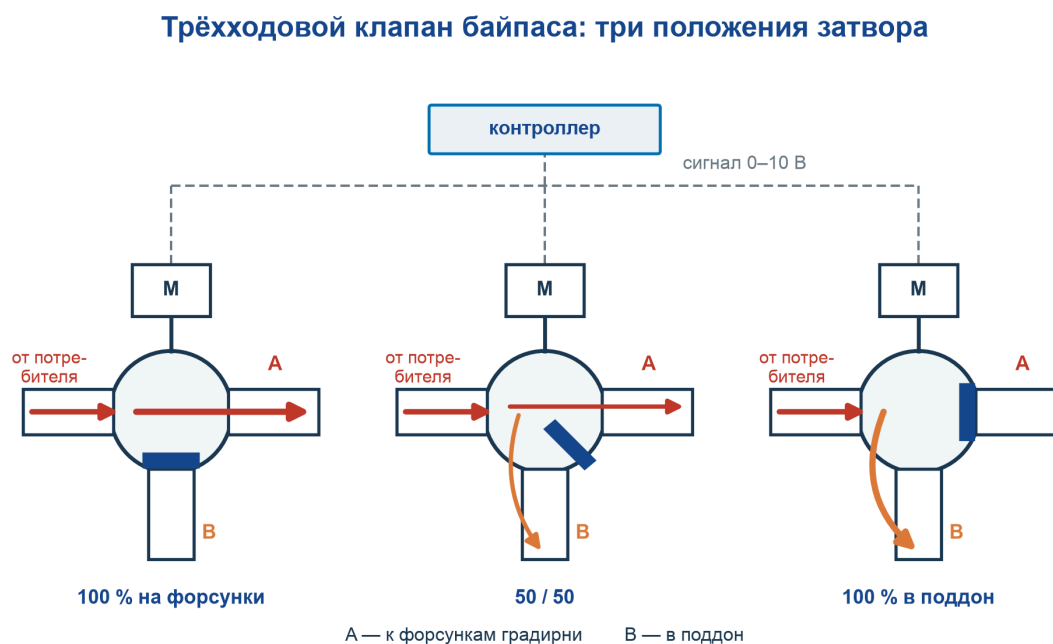
	Байпас в поддон (или в бак)	Полный обход градирни
Куда идёт вода	мимо насадки, но в поддон	от потребителя сразу к насосу
Поддон	получает тепло, лёд не растёт	стоит без потока и остывает
Расход через насос	не меняется	не меняется
Главный риск	почти нет	при пуске быстрый прогрев контура, чиллер может уйти в аварию по высокому давлению; при возврате потока в градирню — вся холодная масса воды из труб
Где применять	основной вариант для открытой градирни с поддоном	только после расчёта времени прогрева

Рисунок 30 Зимняя схема открытого контура: трёхходовой клапан в тёплой зоне, байпас в поддон, ТЭН, дренажи наружных труб



Как строят узел. Байпас собирают на трёхходовом разделительном клапане с электроприводом. Клапан управляется по температуре холодной воды на выходе из поддона и перераспределяет поток между оросителями и поддоном. Сумма расходов остаётся почти постоянной, если на байпасной ветке стоит балансировочный клапан, настроенный на сопротивление и геодезический подъём ветки градирни.

Рисунок 31 Трёхходовой клапан байпаса: 100 % на форсунки, 50/50, 100 % в поддон



ход привода плавный · клапан в отапливаемой зоне · по сигналу температуры воды на выходе

Где ставить клапан. Четыре правила.

1. **В тёплой зоне.** Клапан с приводом — в отапливаемом помещении или под кровлей, а не на улице.

2. **Ниже кровли, с отсечкой и дренажом.** Трубы над кровлей должны отсекаться задвижками и сливаться через дренажный кран в нижней точке.

3. **Не выше рабочего уровня воды в поддоне,** если байпас врезан прямо в линию к насосу. Иначе ночью, пока насос стоит, вода из байпаса стечёт до уровня поддона, в линии останется воздух, и утром он сорвёт насос — чиллер встанет сразу после пуска. Если ниже уровня поддона клапан не поставить, байпас ведут в поддон. Обратный клапан на всасе это не лечит: со временем он начинает пропускать (Stanford, с. 193–195).

4. **Про обратную линию не забыть.** Участок обратной линии выше клапана байпаса постоянно опорожняют в поддон через тонкую всегда открытую трубку либо греют кабелем под изоляцией. Участки ниже байпаса, оказавшиеся на морозе, и подающую линию от градирни защищают обогревом и изоляцией. Обратные линии в проектах забывают чаще всего (Bell & Gossett ТЕН-1209А, с. 28).

Расчёт: время прогрева при полном обходе. Если выбран полный обход, нужно знать, как быстро контур нагреется до уставки. Формула:

$$\tau = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t / Q$$

Пример. Объём воды в трубах и аппаратах $V = 60 \text{ м}^3$, зимняя нагрузка $Q = 2000 \text{ кВт}$, нагреть с 10 до 25 °С ($\Delta t = 15 \text{ К}$).

1. Тепло на нагрев массы воды: $60 \cdot 1000 \cdot 4,19 \cdot 15 = 3\,771\,000 \text{ кДж}$. 2. Время: $3\,771\,000 / 2000 = 1885 \text{ с}$. 3. **Итог: около 31 минуты.**

Таблица 30 Время остывания контура зимой

Объём контура, м³	Нагрузка 1000 кВт	Нагрузка 2000 кВт	Нагрузка 4000 кВт
20	21 мин	10 мин	5 мин
60	63 мин	31 мин	16 мин
120	126 мин	63 мин	31 мин
250	262 мин	131 мин	65 мин

Если время выходит короче **10–15 минут**, полный обход опасен для чиллера: клапан не успеет отработать, и защита сработает раньше. Тогда — только байпас в поддон и плавное регулирование вентиляторов.

7.4. ТЭН поддона

ТЭН поддона (sump heater, погружной электронагреватель) — это защита стоящей воды, а не отопление контура. Стандартные ТЭНы держат +4 °С в поддоне при –18 °С снаружи; некоторые производители требуют держать поддон не ниже 4,4 °С.

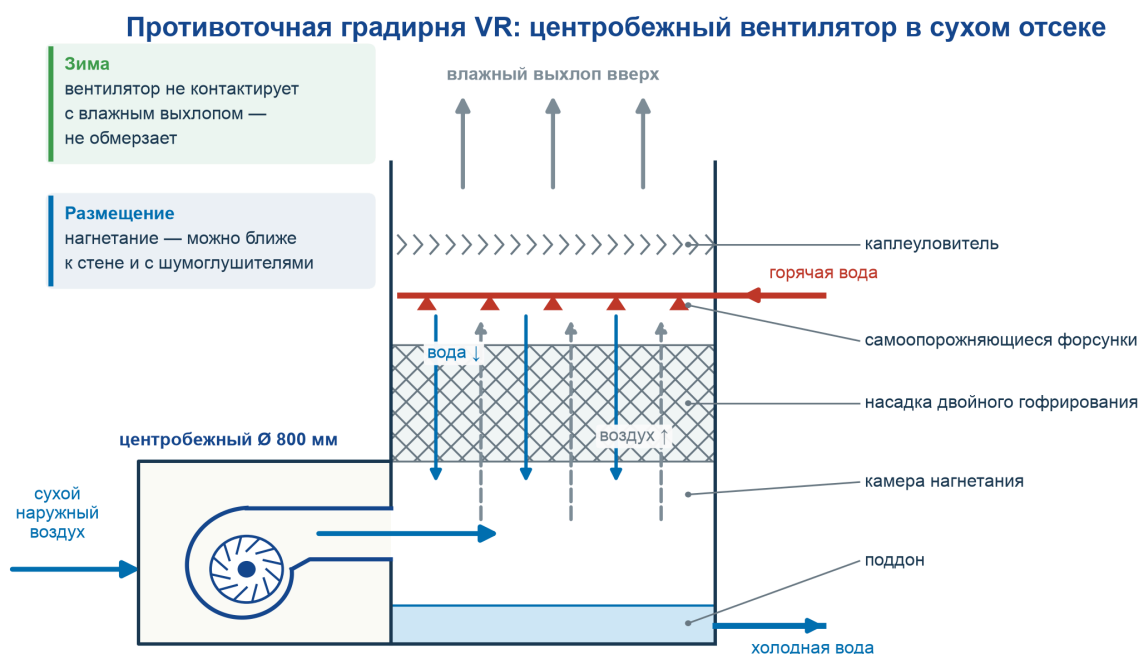
Логика включения: t воды ниже 4 °С и уровень в норме — включить; t выше 7 °С или уровень низкий — выключить. Без воды ТЭН перегорает, поэтому блокировка по низкому уровню обязательна. Датчик температуры ставят у дна, вдали от самого ТЭНа.

ВАЖНО

ТЭН не греет контур. Мощности хватает только на то, чтобы не замёрз небольшой объём поддона при стоящем насосе. Контур 1000 м³/ч при переохлаждении — это мегаватты, их ТЭНом не компенсировать. Против переохлаждения работает байпас: он использует тепло нагрузки, а не электричество. Змеевик закрытой градирни ТЭН поддона тоже не защищает.

Нужен ли ТЭН вообще — зависит от серии. В линейке NCT ТЭНы поддона — опция для серии VA с осевым вентилятором. Серии VR они не нужны: центробежный вентилятор стоит в нижнем сухом отсеке, не контактирует с влажным выхлопом, и градирня работает зимой без обмерзания до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Перекрестноточная серия FX обмерзает по воздухозабору при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, поэтому для круглогодичной работы в устойчивый мороз её не предлагаем — только противоточную VR. Для работы в мороз без орошения у NCT есть опция «сухопарник»; режим её включения согласуют с заводом.

Рисунок 32 Противоточная градирня VR: центробежный вентилятор в сухом отсеке не контактирует с влажным выхлопом и не обмерзает



7.5. Слив на зиму, тёплый бак, обогрев труб

Наружные трубы. Всё, что остаётся на улице, должно сливаться самотёком, без «мешков»: дренажные краны в нижних точках, отсекающая арматура ниже кровли, уклон к дренажу. Участки, где вода может остаться, греют кабелем под изоляцией. Мощность кабеля и ТЭНов считают по теплотерям трубы и поддона при расчётной зимней температуре по СП 131.13330.2025 для города объекта; для поддона мощность ТЭНов даёт завод.

Тёплый бак в помещении. Если градирня работает зимой с остановками, надёжнее всего вынести объём воды в отапливаемое помещение. Поддон на улице работает «на проток», при остановке насоса вся вода стекает в бак. Условие одно: наружные трубы сливаются в бак самотёком. Схему с баком и расчёт его объёма см. в разделах 4 и 5.

Энергия: кабель против вентиляторов. Решение «серия без обмерзания или обогрева» сравнивают по годовой энергии, а не по цене градирни.

Пример. 100 м наружных труб, греющий кабель 30 Вт/м (условно — возьмите из расчёта кабеля), 3000 часов работы за зиму: $100 \cdot 0,03 \cdot 3000 = 9000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год. Плюс ТЭНы поддона, если серия их требует.

Вентилятор зимой: мощность падает как куб оборотов, на 50 % оборотов он берёт 12,5 % номинала. На каждые 10 кВт установленной мощности за 3000 зимних часов: $10 \cdot (1 - 0,125) \cdot 3000 = 26250 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ экономии против работы на полной скорости с байпасом. Обе цифры умножают на тариф заказчика.

7.6. Закрытая градирня: гликоль, вода с защитой, сухой режим

У закрытой градирни зимой два контура и две задачи: не заморозить змеевик (внутренний контур) и не заморозить поддон и стояк орошения (наружный). Сухой режим снимает только вторую задачу. Вопрос «вода или гликоль во внутреннем контуре» проектировщик решает всё равно.

Вариант 1. Гликоль. Концентрацию подбирают по зимней температуре из СП 131.13330.2025 для города объекта с запасом 3–5 К на кристаллизацию:

Таблица 31 Закрытая градирня: гликоль, вода с защитой, сухой режим

Раствор	Защита
30 % этилен- или пропиленгликоля	до -14°C , кристаллизация начинается с $-12,7^\circ\text{C}$
40 % этиленгликоля по объёму	замерзает при $-23,5^\circ\text{C}$

Гликоль меняет подбор: для 30 % этиленгликоля расход на ту же нагрузку растёт примерно на 7,5 %, теплоотдача в трубах падает, насос нужен мощнее. Подбор градирни делают заново на конкретной жидкости, а не пересчётом «плюс 10 % на всякий случай»; в опросном листе указывают жидкость, концентрацию и базис процента (по массе или по объёму).

Подпитывать гликолевый контур водопроводной водой нельзя: каждое пополнение разбавляет раствор, и через сезон 30 % превращаются в 25 %, а защита с -14°C сползает к -10°C . Ставят станцию долива готового раствора. Концентрацию проверяют рефрактометром при пуске и каждую осень — нужна точка отбора проб на доступной высоте.

Вариант 2. Вода с защитой змеевика. Работает круглый год, если в проекте есть три вещи:

- постоянный минимальный расход через змеевик по паспорту — байпас проектируют так, чтобы змеевик никогда не оставался с неподвижной водой;
- датчик на выходе змеевика с уставкой не ниже 7°C ; при нехватке нагрузки — вспомогательный нагрев;
- узел аварийного слива змеевика.

Узел аварийного слива: отсекающие клапаны с приводом на входе и выходе змеевика (при пропадании питания закрываются), дренажный клапан в нижней точке (при пропадании питания открывается), клапан срыва вакуума (vacuum breaker) в верхней точке — без него вода не уйдёт. Для оцинкованных змеевиков уставку слива принимают 10°C , если паспорт модели не говорит иначе. Время слива оценочно: при дренаже DN50 и напоре около 2 м слив 3 м^3 занимает 15–20 минут; фактическое время замеряют на пусконаладке.

ВНИМАНИЕ

Слив змеевика — аварийная мера, а не осенний регламент. Частый слив вызывает коррозию изнутри: змеевик из углеродистой стали, оставленный пустым и влажным, ржавеет быстрее заполненного. Если контур выводят из работы на весь сезон, после слива змеевик продувают и сушат или заполняют консервирующим раствором.

Вариант 3. Промежуточный теплообменник. Гликоль только в контуре градирни, к потребителю идёт вода через пластинчатый теплообменник. Технология не видит гликоля, но добавляются теплообменник, насос и потеря 2–4 К температурного напора.

Сухой режим. Зимой при низкой нагрузке орошение выключают, и аппарат охлаждает жидкость только воздухом (dry operation). Движущая сила теперь — сухой термометр. У е-серий NCT змеевик оребрён, это +30–40 % площади теплообмена, и часть года аппарат работает без орошения, подпитки и парения.

Сухой режим — функция нагрузки. В расчётном примере для е-серии при 50 % нагрузки переход в сухой режим возможен уже при +11 °С наружного воздуха, при 100 % — только ниже –9 °С. Поэтому в опросном листе нужна нагрузка по сезонам, а кривую переключения для модели даёт производитель.

Три правила сухого режима:

- режим сезонный, а не способ регулировать мощность: попеременное смачивание и высыхание змеевика даёт накипь;
- в мороз поддон опорожняют — вода, оставленная в поддоне, замёрзнет даже с ТЭНами;
- у центробежных вентиляторов в сухом режиме растёт расход воздуха, двигатель нужен с запасом.

7.7. Зимние схемы контура орошения

Для контура орошения закрытой градирни и испарительного конденсатора (ИК) есть три рабочие зимние схемы. Выбор делают на стадии П: от него зависят электрические нагрузки, помещение и трассы.

Таблица 32 Зимние схемы контура орошения

Схема	Как работает	Где применять	Что показать в проекте
1. Мокрый режим с обогревом поддона	орошение круглый год, поддон с ТЭНами, трубы подпитки и дренажа с кабелем	мороз не ниже расчётного для ТЭНов	ТЭНы с термостатом и блокировкой по уровню, кабель на подпитке и дренаже, мощность обогрева
2. Сухой режим со сливом поддона	зимой только вентиляторы, поддон пуст	е-серии с оребрённым змеевиком; режим сезонный	автоматический дренажный клапан поддона, дренаж насоса и стояка орошения, отключение и слив подпитки, кабель там, где может остаться вода, алгоритм перехода между режимами
3. Выносной бак в тёплом помещении	поддон всегда сливается самотёком в бак, насос орошения в помещении	суровый климат, критичный процесс	бак в тёплом помещении, самотёчная линия с уклоном, насос в помещении, объём бака

Схема 3 — самая надёжная для сурового климата и самая дорогая по строительной части. Если мороз на объекте ниже расчётной температуры ТЭНов, схема 1 требует проверки: либо мощнее

обогрев, либо переход на схему 2 или 3.

Для ИК зимний сухой режим — только сезонный и только по согласованию с заводом: остановка орошения на ИК за минуты поднимает давление конденсации.

Чек-лист раздела 7: зимний режим

- ☐ Уставка воды на выходе задана потребителем и не ниже 5 °C (открытая) или 7 °C на выходе змеевика без гликоля (закрытая).
- ☐ В задании на автоматику записана последовательность: ЧРП не ниже 30 %, остановка вентиляторов не чаще 6 пусков в час, байпас, ТЭН с блокировкой по уровню.
- ☐ Выбран байпас в поддон или полный обход; для обхода посчитано время прогрева.
- ☐ Трёхходовой клапан стоит в тёплой зоне и не выше рабочего уровня воды в поддоне.
- ☐ Наружные трубы сливаются самотёком, есть дренажи в нижних точках и отсечка ниже кровли.
- ☐ Для закрытой градирни выбрано и записано: гликоль с концентрацией по СП 131, вода с минимальным расходом и аварийным сливом или промежуточный теплообменник.
- ☐ Для контура орошения выбрана одна из трёх зимних схем, и на листе показано всё, что она требует.

Правило прохода: нет последовательности зимнего регулирования или защиты змеевика — раздел в экспертизу не выпускать.

8. Размещение

Градирня охлаждает тем воздухом, который ей дали. Поставьте её в колодец между стенами — и она будет весь август дышать собственным выхлопом. Расчёт по мокрому термометру из СП 131.13330.2025 на такой площадке ничего не гарантирует. Этот раздел — о том, как проверить площадку цифрами: отступы, шум, унос, опоры.

ВНИМАНИЕ

«Улица» — не исходные данные. Опросный лист, где в графе «место установки» стоит просто «улица», ничего не говорит о площадке. Нужны высоты ближайших стен и расстояния до них, направление летнего и зимнего ветра, расстояние до жилья и до воздухозаборов вентиляции. Без этого вы подписываетесь под недоохлаждением, которое на площадке не получится.

8.1. Рециркуляция влажного факела

Из вентилятора выходит тёплый воздух, насыщенный влагой: его температура мокрого термометра на несколько градусов выше наружной. Если часть этого воздуха вернётся в воздухозабор, градирня охлаждает воду воздухом, который уже поработал. Это рециркуляция (recirculation, повторное всасывание выхлопа).

Её вызывают три вещи:

- стена или здание рядом — выхлоп отражается и падает вниз, к жалюзи;
- колодец или ограждение — воздуху некуда поступать, кроме как сверху, а сверху идёт выхлоп;
- ветер, который прижимает факел (plume, шлейф выхлопа) к земле с подветренной стороны.

Сюда же относится соседство (interference): чужая градирня, вытяжка котельной, выброс вентиляции поднимают температуру воздуха на входе.

Во что обходится. Методика производителей: если площадка не укладывается в рекомендации по размещению, расчётный мокрый термометр увеличивают на поправку и подбирают градирню заново. Типовой пример — поправка 1 °C: режим 32 / 27 / 21 °C (вход воды / выход / мокрый термометр) превращается в 32 / 27 / 22 °C. По опубликованным данным, рециркуляция всего на 1,1 K может отнять до 19 % производительности градирни.

Пример. Контур 1000 м³/ч, 35 → 28 °C, мокрый термометр 22 °C. Недоохлаждение до мокрого термометра (approach) 28 – 22 = 6 K. Рециркуляция 1 K делает эффективный мокрый термометр 23 °C, и approach падает до 5 K. Та же градирня отдаст воду примерно на кельвин теплее, а чтобы держать 28 °C, нужен аппарат под approach 5 K — по программе подбора заметно больший.

Почему тип вентилятора важен. У вытяжных (отсасывающих) вентиляторов скорость выброса 6–10 м/с, вертикальная струя держится 10–12 м, и это почти исключает рециркуляцию. У нагнетательных скорость выхода из градирни всего 1,7–2,5 м/с, и выхлоп может задувать уже сравнительно слабым ветром (Пономаренко, Арефьев, «Градирни промышленных и энергетических предприятий», 1998, с. 119–121).

8.2. Расстояния до стен и между градирнями: метод конверта

Правило «отступите от стены на два метра» ничего не говорит о конкретной градирне. Воздуху важно не расстояние, а скорость, с которой он входит в зазор между стеной и жалюзи. При большой скорости на входе возникает разрежение, и выхлоп сверху затягивается в эту зону.

У сплошной стены. Воздух к жалюзи проходит через «конверт» (envelope area): полосу шириной d вдоль жалюзи, выступающую на 0,6 м за каждый торец, и две торцевые полосы. Скорость в конверте — не больше 1,5 м/с; для градирен с центробежным вентилятором и суживающимся диффузором допускается 2 м/с.

Для аппарата с одной стороной забора:

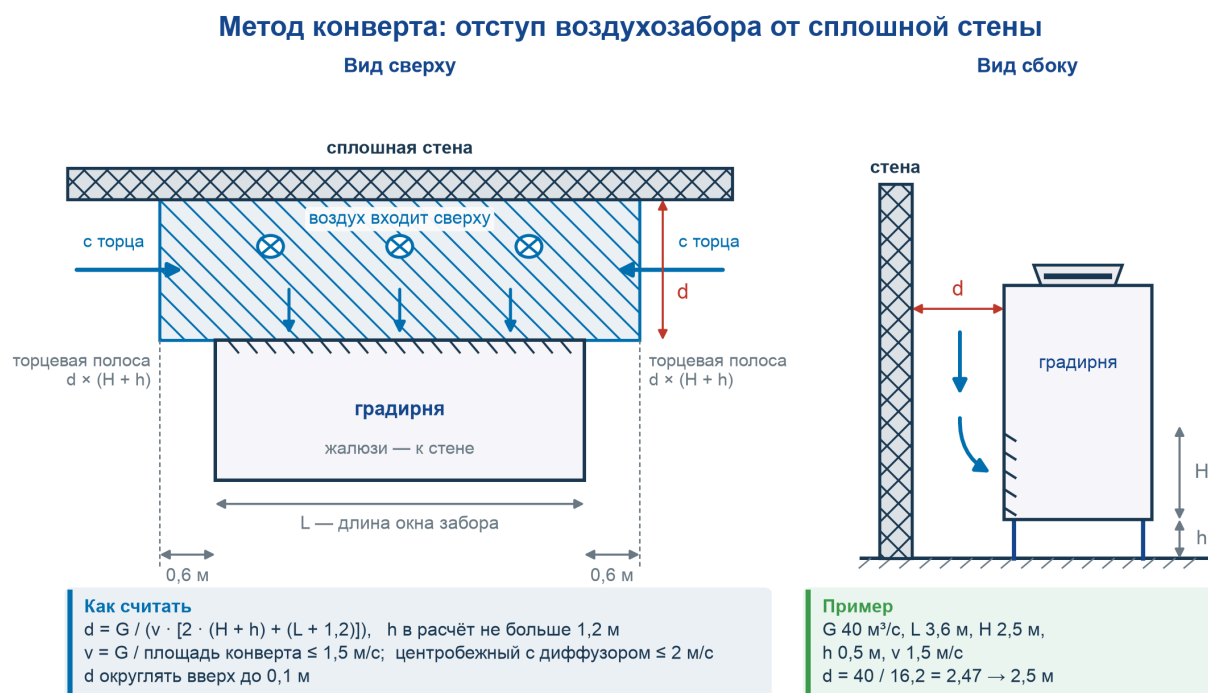
$$d = G / (v \cdot [2 \cdot (H + h) + (L + 1,2)])$$

где G — расход воздуха через аппарат, м³/с (из паспорта); v — допустимая скорость, 1,5 или 2 м/с; H — высота окна воздухозабора, м; h — подъём аппарата над площадкой, м (в расчёт не больше 1,2 м); L — длина окна воздухозабора, м. Для аппарата с двумя сторонами забора на каждую сторону подставляют половину расхода. Результат округляют вверх до 0,1 м.

Пример (условный модуль). $G = 40$ м³/с, окно забора с одной стороны $L = 3,6$ м, $H = 2,5$ м, рама $h = 0,5$ м, осевой вентилятор, $v = 1,5$ м/с.

1. Периметр конверта: $2 \cdot (2,5 + 0,5) + (3,6 + 1,2) = 10,8$ м. 2. $d = 40 / (1,5 \cdot 10,8) = 40 / 16,2 = 2,47$ м. 3. **Итог: отступ 2,5 м.** Для центробежной машины с диффузором при $v = 2$ м/с получится 1,9 м — центробежные градири можно ставить ближе к стене.

Рисунок 33 Метод конверта: минимальный отступ воздухозабора от сплошной стены



Несколько модулей. Если воздухозаборы смотрят друг на друга, расстояние между ними $M = 2 \cdot d + n \cdot 0,3$ м, где n — число секций в модуле. Группу желательно поднимать не меньше чем на 0,6 м, чтобы воздух выравнивался под секциями. Установку из **четырёх и более секций** отдают на проверку производителю: большая группа создаёт собственный микроклимат, и общий метод уже не работает.

Быстрая прикидка (условные модули, одна сторона забора, $h = 0,5$ м, $v = 1,5$ м/с):

Таблица 33 Расстояния до стен и между градирнями: метод конверта

Расход воздуха G, м³/с	L, м	H, м	d у стены, м	M между модулями (n = 1), м
20	2,4	2,0	1,6	3,5
40	3,6	2,5	2,5	5,3
60	4,8	2,8	3,2	6,7
90	6,0	3,0	4,3	8,9
120	7,2	3,2	5,1	10,5

Большая градирня у стены требует отступа, сравнимого с её длиной, и на тесной площадке это первое, что ломает генплан.

В колодце. Если градирня стоит в колодце из стен или в прямке на кровле, воздух опускается сверху. Скорость нисходящего потока — не больше 2 м/с:

$$v_{\text{вниз}} = G / (d \cdot (1,2 + L + 1,2) + 2 \cdot 1,2 \cdot 0,3) \leq 2 \text{ м/с}$$

В ограждении с жалюзи. Живое сечение жалюзи — не меньше 50 %, скорость в живом сечении — не больше 3 м/с, расстояние от воздухозабора до жалюзийной стены — не меньше 0,9 м.

Общие правила:

- верх диффузора вентилятора (или шумоглушителя на выхлопе) — не ниже стен и зданий рядом, лучше выше;
- к стене поворачивать глухую сторону, а не жалюзи;
- если стоит шумоглушитель на входе, расстояния мерить от его лицевой плоскости;
- ориентировать аппарат так, чтобы преобладающий летний ветер уносил выхлоп от воздухозаборов.

Строгий вариант. Метод конверта — минимум по скорости воздуха на входе. Стэнфорд даёт запас на ветер и рециркуляцию: от стены здания — не меньше 9 м, у высокого здания — не меньше половины его высоты, что больше; экран вокруг градирни — с живым сечением не меньше 50 % и верхом не выше выброса, зазор до воздухозабора — не меньше 3 м или ширины градирни. Если градирня ближе, выброс поднимают диффузором или рамой не ниже кровли соседнего здания (Stanford, HVAC Water Chillers and Cooling Towers, с. 174–176). Для модуля 40 м³/с из примера это 2,5 м против 9 м. На тесной площадке между ними выбирают осознанно и записывают решение в пояснительную записку.

В помещении. Если градирню всё же ставят внутрь: скорость во входном воздуховоде — не больше 4 м/с, в выхлопном — не больше 5 м/с, внешнее статическое давление для центробежных вентиляторов обычно до 250 Па; осевые вентиляторы для работы с воздуховодами обычно не годятся. Закрытые градирни НСТ в помещении не рекомендуем: влажность, шум и тепло уходят в цех. Если решение всё-таки такое — это отдельный проект с заводом.

8.3. Шум и шумоглушители

Градирня шумит тремя источниками: вентилятор с двигателем, воздух в жалюзи и диффузоре, вода, падающая в поддон. У осевых вентиляторов главный источник — вентилятор, у центробежных тихоходных заметную долю даёт падение воды. Поэтому мер тоже две: шумоглушители на вентиляторе и насадка в поддоне, которая гасит удар капель. Обе опции есть в линейке НСТ.

Нормы. СанПиН 1.2.3685-21 (таблица 5.35) для территории, непосредственно прилегающей к жилым домам: днём (7–23 ч) эквивалентный уровень **55 дБА**, максимальный **70 дБА**; ночью (23–7 ч) — **45 дБА** и **60 дБА**. Методы расчёта — СП 51.13330.2011 «Защита от шума» с изменением № 4. Градирня, которая работает круглосуточно, проверяется по ночной норме. Частая ошибка — посчитать по 55 дБА и получить претензию на ночном замере.

Расчёт. Для точечного источника на отражающей поверхности без экранов:

$$L_r = L_{ref} - 20 \cdot \lg(r / r_{ref})$$

Каждое удвоение расстояния снимает 6 дБ. Одинаковые источники складываются как $10 \cdot \lg n$: две градирни дают +3 дБ, четыре — +6 дБ. Снижение оборотов оценивают по законам подобия: $\Delta L \approx 50 \cdot \lg(n_1 / n_2)$ — это оценка, точные уровни на пониженных оборотах запрашивайте у производителя.

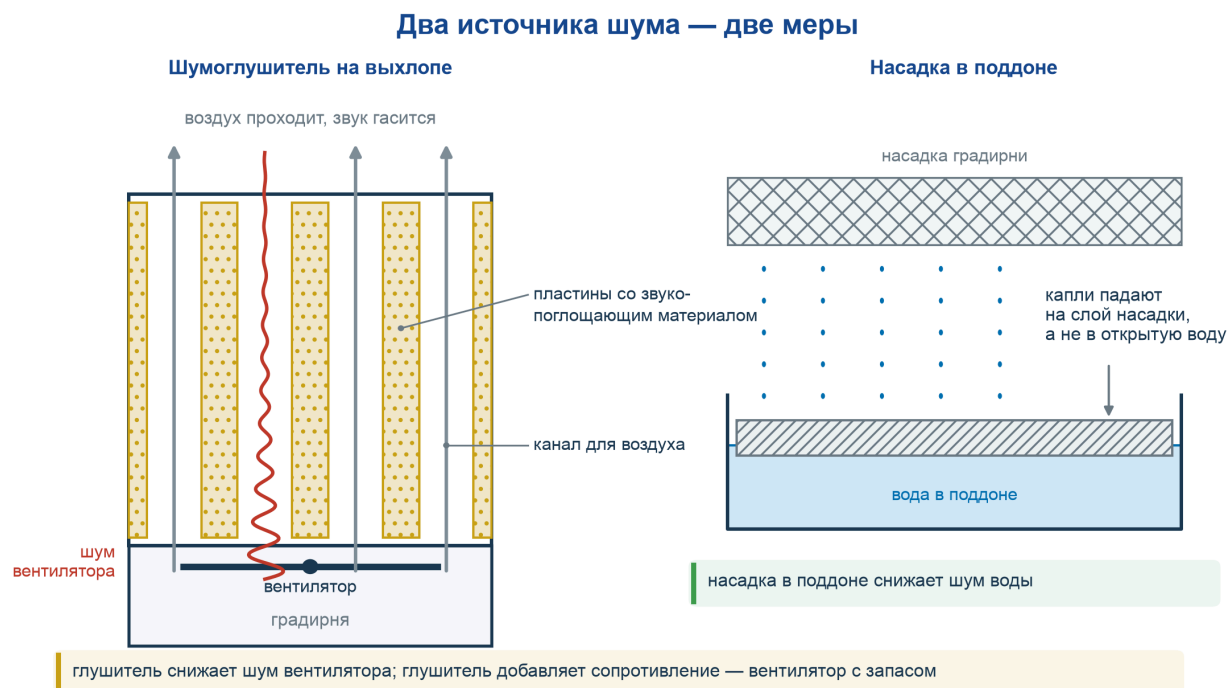
Пример. Паспортная точка: 68 дБА на 10 м.

Таблица 34 Шум и шумоглушители

Расстояние до границы, м	Одна машина, дБА	Две машины, дБА
10	68,0	71,0
30	58,5	61,5
50	54,0	57,0
100	48,0	51,0
150	44,5	47,5

1. Ночная норма 45 дБА для одной машины: $r = 10 \cdot 10^{((68 - 45) / 20)} = \mathbf{141 \text{ м}}$; для двух — около 200 м. 2. Ночью вентилятор на 70 % оборотов: $\Delta L \approx 50 \cdot \lg(1 / 0,7) = 7,7 \text{ дБ}$, на 10 м остаётся 60,3 дБА. 3. **Итог:** норма 45 дБА выполняется уже с **58 м**. Ночная нагрузка обычно ниже дневной, и на пониженной скорости градирня справляется. Это самый дешёвый децибел: частотник всё равно ставят ради энергии, а мощность вентилятора на 70 % оборотов — 0,34 номинала.

Для перекрёстноточных градирен FX с шумоглушителем XC ориентир по данным NCT — около 45 дБА на 15 м.



Что заложить в проект: требование к шуму в опросном листе (дБА на границе днём и ночью и расстояние до неё); октавные уровни от производителя для расчёта по СП 51.13330; ночной режим ЧРП в алгоритме автоматики; шумоглушители с насадкой в поддоне сразу, если расчёт не проходит с запасом 3 дБ. Шумоглушитель добавляет сопротивление — вентилятор подбирают с запасом.

ВНИМАНИЕ

Шумоглушение после монтажа почти невозможно. Его закладывают в подбор, а не добавляют по жалобе.

8.4. Кровля, опоры и вибрация

Кровля. Для градирни на кровле действуют все правила 8.1–8.2, плюс три своих:

- выхлоп — выше парапета: градирню поднимают на раму так, чтобы верх диффузора был не ниже парапета и соседних стен;
- прямое или ограждение на кровле считают как колодец (нисходящая скорость не больше 2 м/с) или как жалюзийное ограждение;
- трубы над кровлей отсекаются и сливаются, байпас и клапаны — ниже кровли (раздел 7.3).

Вибрация: что проверить. Опасна не сама пульсация от вентилятора, а совпадение её частоты с собственной частотой конструкции. Лопастная частота $f = (n / 60) \cdot z$, где n — обороты в минуту, z — число лопастей. У медленного осевого колеса она попадает ровно в диапазон собственных частот стальных рам и площадок (10–30 Гц), у центробежного уходит вверх.

Пример. Осевое колесо серии VA, 8 лопастей, 120 об/мин: $8 \cdot 120 / 60 = 16$ Гц. Ночью на 70 % оборотов — около 11 Гц. Собственные частоты междуэтажных перекрытий обычно 8–15 Гц, лёгких

металлических площадок — 5–12 Гц. Малошумный ночной режим может посадить вентилятор ровно в резонанс перекрытия под ним.

Что из этого следует для проекта:

- динамическую нагрузку от вентиляторов выдают строителям **цифрой** в задании, а собственную частоту перекрытия или площадки проверяют расчётом;
- с частотником один и более резонансов между нулём и полной скоростью — обычное дело. Привод должен уметь блокировать критические частоты минимум для трёх полос (СТИ ESG-151). Запретные зоны находят на пусконаладке: проходят диапазон шагом 2 Гц вверх и вниз с замером вибрации, найденные полосы заносят в привод, и он проходит их быстро. На заводе это сделать нельзя — частоты зависят от опоры и основания на объекте. Включите этот пункт в программу пусконаладки.

Виброизоляция. Собственная частота опоры на изоляторах: $f \approx 15,76 / \sqrt{\delta}$, где δ — статический прогиб под нагрузкой, мм. Изоляция работает, только если рабочая частота машины выше собственной частоты опор минимум в **1,4 раза**, на практике стремятся к **3–5**. Если частоты близки, изолятор не гасит, а усиливает вибрацию.

Таблица 35 Кровля, опоры и вибрация

Тип изолятора	Прогиб, мм	Собственная частота, Гц	Где применять
Резина, эластомер	2–8	5,5–11	лёгкое высокооборотное оборудование
Стальные пружины	25–100	1,6–3,2	тяжёлое и тихоходное — градирни

Чем медленнее вентилятор, тем мягче должны быть опоры. Центробежное колесо на 300 об/мин — это 5 Гц; для запаса 3 нужна опора около 1,7 Гц, то есть прогиб порядка 85 мм. Резина такого не даёт.

Изоляторы предпочтительнее ставить под градирню целиком, а не между рамой мехоборудования и корпусом: во втором случае вибрация остаётся внутри градирни. Чек-лист узла развязки: тип изоляторов назначен расчётом под фактическую массу; нагрузка на опоры равномерная; гибкие вставки на всех трубах (подача, обратка, подпитка, дренаж); гибкие вводы кабеля; **ни одной жёсткой перемычки в обход изоляторов**. Такие перемычки появляются на монтаже, поэтому узел проверяют на объекте, а не по чертежу.

8.5. Аэрозоль и капельный унос рядом с воздухозаборами

Капельный унос (drift, капли, унесённые выхлопом) — не пар. Пар чистый, а капли несут всё, что растворено и взвешено в оборотной воде: соли, реагенты, бактерии. Поэтому унос — вопрос санитарии и коррозии соседних конструкций.

Цифры. С исправными эффективными каплеуловителями унос **0,001–0,005 %** расхода циркуляции (ASHRAE HVAC Systems and Equipment, гл. 40). У закрытых градирен NCT каплеуловитель с уносом до 0,001 %; у открытых — каплеуловитель тройного изгиба, в котором воздух трижды меняет направление. Старый СНиП 2.04.02-84 давал 0,1–0,2 % — в 20–200 раз больше, и в расчёт эти цифры брать нельзя. Если в предложении заявлен унос, спрашивайте метод измерения: для этого есть изокINETический метод СТИ АТС-140.

Таблица 36 Аэрозоль и капельный унос рядом с воздухозаборами

Расход циркуляции, м³/ч	Унос 0,001 %, л/ч	Унос 0,005 %, л/ч	По старому СНиП 0,2 %, м³/ч
250	2,5	12,5	0,5
1000	10	50	2,0
5000	50	250	10,0

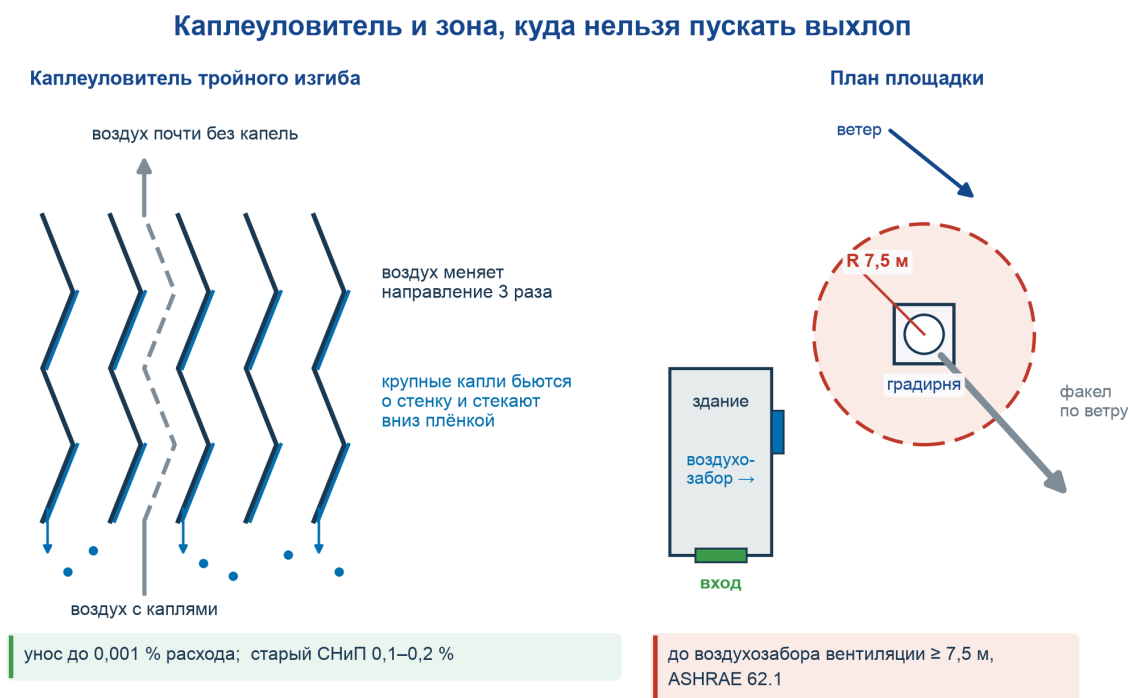
Пример. 1000 м³/ч при 0,001 % — 10 л/ч. При солесодержании оборотной воды 1500 мг/л с каплями уходит $10 \cdot 1,5 = 15$ г солей в час. Немного, но это аэрозоль с солями и бактериями в каждом кубометре выхлопа.

Легионелла. СанПиН 3.3686-21 (глава XLII) относит градирни и испарительные конденсаторы промышленных предприятий к потенциально опасным системам, требующим периодического исследования на легионеллы; риск растёт при воде 20–50 °С. Воздухозабор рядом с выхлопом — первое, что спросит санитарный врач. Программа контроля — раздел 10.5.

Что требовать от размещения:

- выхлоп и капли не должны попадать в воздухозаборы вентиляции обслуживаемого и соседних зданий;
- выхлоп не проходит над местами, где бывают люди: входы, проходы, остановки;
- от выхлопа градирни до наружного воздухозабора вентиляции — **не меньше 7,5 м**, от воздухозабора или поддона градирни — **не меньше 5 м** (ANSI/ASHRAE 62.1, таблица 5-1, редакция 2019). В РФ стандарт не обязателен, но как проектное правило работает, и на экспертизе на него можно сослаться как на мировую практику.

Рисунок 35 Каплеуловитель тройного изгиба и зона вокруг выхлопа, куда нельзя ставить воздухозаборы



Зимний факел. В мороз выхлоп конденсируется в туман и оседает инеем на ограждениях, проходах и дорогах. Проверьте на генплане, что стоит под факелом по зимнему ветру в 20–50 м. До-

рога или стоянка — разворачивайте, поднимайте выброс или переходите на закрытую е-серию с сухим режимом: в нём нет ни пара, ни капель.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ). СЗЗ устанавливают для предприятия в целом по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Сооружения оборотного водоснабжения разрешено размещать в границах СЗЗ, но на её границе гигиенические нормативы выполняются с учётом всех источников — значит, шум и аэрозоль градирни идут в общий расчёт. Если у предприятия СЗЗ 4-го класса и жильё рядом, открытую градирню не предлагаем — переходим на закрытую или на сухой охладитель (драйкулер).

8.6. Сводная таблица: ситуация — расстояние или решение

Таблица 37 Сводная таблица: ситуация — расстояние или решение

Ситуация	Минимальное расстояние или решение	Откуда
Воздухозабор у сплошной стены	d по методу конверта: скорость не больше 1,5 м/с (2 м/с — центробежный с диффузором); пример: 2,5 м для 40 м³/с	раздел 8.2
Воздухозаборы двух модулей друг напротив друга	$M = 2 \cdot d + n \cdot 0,3$ м	раздел 8.2
Группа модулей	подъём не меньше 0,6 м; от 4 секций — проверка производителем	раздел 8.2
Колодец, приемок на кровле	нисходящая скорость не больше 2 м/с	раздел 8.2
Жалюзийное ограждение	живое сечение не меньше 50 %, скорость не больше 3 м/с, до воздухозабора не меньше 0,9 м	раздел 8.2
Стены и парапет выше градирни	верх диффузора не ниже стен; глухой стороной к стене	раздел 8.2
Выхлоп и воздухозабор вентиляции	не меньше 7,5 м	ASHRAE 62.1
Воздухозабор или поддон градирни и воздухозабор вентиляции	не меньше 5 м	ASHRAE 62.1
Жильё, ночная работа	45 дБА на территории; пример: 141 м для 68 дБА на 10 м, 58 м с ночным ЧРП на 70 %	СанПиН 1.2.3685-21
Дорога или стоянка под зимним факелом	проверить зону 20–50 м по зимнему ветру	раздел 8.5
Установка в помещении	воздуховоды: вход до 4 м/с, выход до 5 м/с, до 250 Па; согласование с заводом	раздел 8.2

Чек-лист раздела 8: размещение

- ☐ Получены у производителя расход воздуха и размеры окна забора, посчитан отступ от стены по методу конверта.
- ☐ Верх диффузора или шумоглушителя не ниже соседних стен и парапетов.
- ☐ Для колодца и ограждения проверены нисходящая скорость и живое сечение.
- ☐ Шум на границе жилья посчитан по ночной норме 45 дБА с запасом 3 дБ.
- ☐ Выхлоп не ближе 7,5 м к воздухозаборам вентиляции и не проходит над входами и дорогами.
- ☐ Динамическая нагрузка выдана строителям цифрой, изоляторы подобраны по массе, поиск запретных частот включён в пусконаладку.

Правило прохода: выхлоп ниже соседней стены без расчёта отступа или без поправки на рециркуляцию — раздел не выпускать.

9. Автоматика

Контур градирни без описанного алгоритма — набор оборудования, который наладчик будет настраивать по памяти. Проект заканчивается не на схеме, а на перечне сигналов, уставках и ответе на вопрос «что делает система, когда что-то пошло не так».

9.1. Что автоматизирует контур и из каких уровней состоит

У автоматики контура четыре задачи:

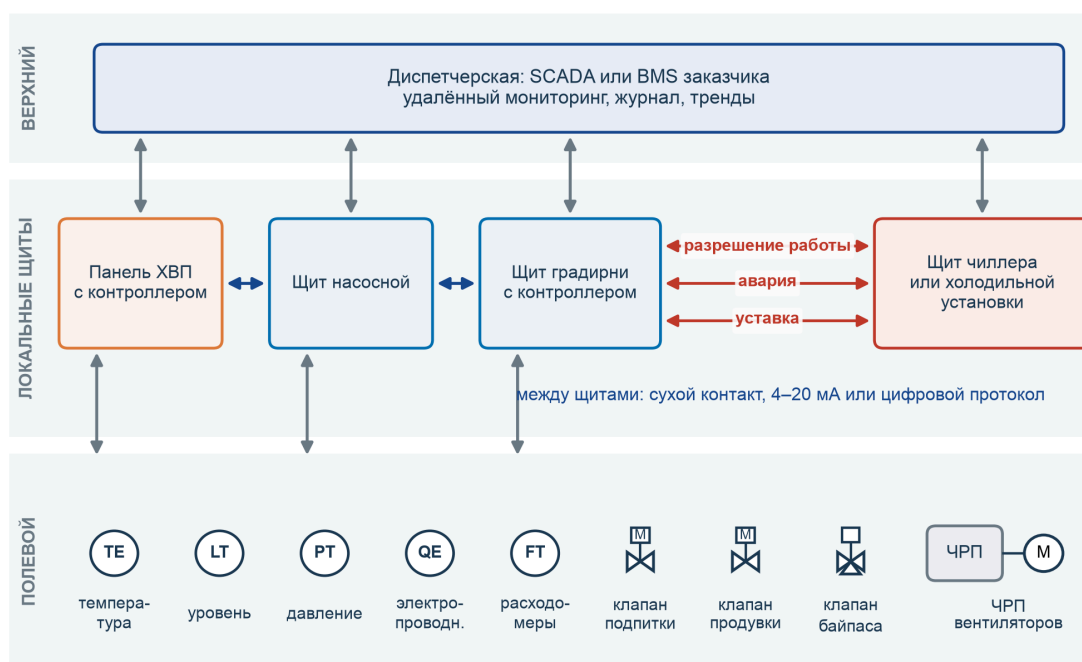
- **держат температуру воды** на выходе при переменной нагрузке и погоде;
- **защищать оборудование**: насосы от сухого хода, змеевик от замерзания, вентиляторы от частых пусков;
- **держат водный режим**: продувку, дозирование, подпитку;
- **сообщать**: аварии, журнал, данные для диспетчерской.

Уровней три:

- **полевой** — датчики, клапаны с приводами, частотные преобразователи (ЧПП, variable frequency drive);
- **локальный щит** градирни или насосной с контроллером, панелью оператора и журналом аварий;
- **верхний уровень** — диспетчерская, SCADA или BMS заказчика, удалённый мониторинг.

Программу контроллера проектировщик контура не пишет. Он передаёт в раздел автоматизации три документа: **перечень сигналов** с точками установки, **алгоритмы** с уставками и **перечень блокировок**.

Граница с поставщиками. Градирня часто приходит со своим щитом, панель водоподготовки — со своим контроллером, чиллер — со своим. Проект должен сказать, какой щит главный, какие сигналы идут между щитами и каким способом: сухой контакт, аналоговый сигнал 4–20 мА или цифровой протокол. На стадии П фиксируют сам факт обмена, на стадии Р запрашивают у поставщика протокол и карту регистров.



ПРИМЕЧАНИЕ

Что поставляется с градирней NCT. Шкафы автоматики с ЧРП, SCADA и удалённым мониторингом идут опцией к градирням, испарительным конденсаторам и насосным. Для испарительного конденсатора есть щит управления с ЧРП, контроллером, журналом аварий и дистанционным запуском по сухому контакту. Состав щита и протокол обмена согласуем на каждом проекте.

9.2. КИП открытого контура: что и где мерить

Перечень ниже — полный, для контура с насосной и водоподготовкой. На малом объекте часть позиций сокращают, но тогда в записке пишут, какой функции лишается контур.

Таблица 38 КИП открытого контура: что и где мерить

№	Параметр	Прибор	Точка установки	Сигнал	Зачем
1	Температура горячей воды	Термопреобразователь в гильзе	Общая подающая на градирни, до разветвления на секции	AI	Нагрузка, контроль перепада (range)
2	Температура холодной воды	Термопреобразователь в гильзе	Напорный коллектор после точки смешения байпаса, не ближе 10 диаметров	AI	Главный регулируемый параметр
3	Температура и влажность наружного воздуха	Датчик в радиационной защите	С северной стороны, вне факела градирни	AI	Расчёт мокрого термометра, переход в зимний режим
4	Уровень в поддоне или баке	Аналоговый уровнемер	В успокоительной трубе, вдали от выхода к насосам и от падающей воды	AI	Подпитка, тревоги

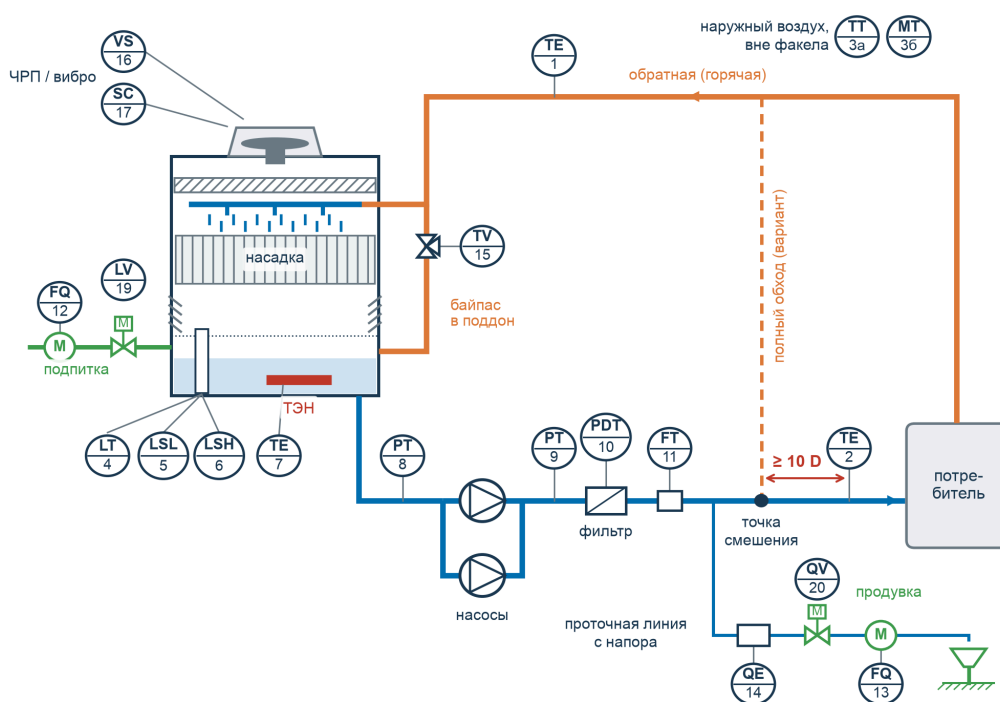
№	Параметр	Прибор	Точка установки	Сигнал	Зачем
5	Аварийный низкий уровень	Сигнализатор	Поддон или бак	DI	Останов насосов, запрет ТЭНа
6	Аварийный высокий уровень	Сигнализатор	Ниже кромки перелива	DI	Закрыть подпитку, тревога
7	Температура воды в поддоне	Термопреобразователь	У дна поддона, вдали от ТЭНа	AI	Управление ТЭНом, зимний режим
8	Давление на всасе насосов	Датчик с отборным краном	Всасывающий коллектор	AI	Запас на всасе (NPSH), забитая решётка
9	Давление на нагнетании	Датчик	Напорный коллектор	AI	Работа насосов, регулирование
10	Перепад на фильтре	Дифманометр	До и после фильтра	AI	Промывка, тревога
11	Расход циркуляции	Расходомер	Прямой участок напорной линии	AI	Контроль расхода на градирни
12	Расход подпитки	Водомер с импульсным выходом	Линия подпитки	DI (импульс)	Циклы, дозирование
13	Расход продувки	Водомер с импульсным выходом	Линия продувки	DI (импульс)	Циклы, учёт стоков
14	Электропроводность	Кондуктометрическая ячейка	Проточная линия с напора, не поддон	AI	Продувка
15	Положение байпасного клапана	Привод с обратной связью	Байпас на градирне	AO, AI	Зимний режим
16	Вибрация вентилятора	Вибровыключатель	Опора привода	DI	Аварийный останов
17	Состояние и частота ЧРП	Сигналы ЧРП	Щит	DI, AI	Регулирование, авария
18	Состояние насосов	Сигналы пускателей или ЧРП	Щит насосной	DI	Резерв, авария

AI — аналоговый вход, DI — дискретный вход, AO — аналоговый выход, DO — дискретный выход.

Пять правил размещения, на которых ошибаются чаще всего:

- **Датчик холодной воды** — после точки смешения байпаса, не ближе 10 диаметров. Сразу за тройником поток расслоен, контроллер видит то горячую, то холодную воду, и байпас начинает «качаться».
- **Ячейка электропроводности** — в проточной линии с постоянным током воды. В поддоне или тупике показания отстают от реальной воды, продувка опаздывает.
- **Уровнемер** — в успокоительной трубе. Прямо в поддоне поверхность волнуется от падающей воды, подпитка дёргается.
- **Датчик наружного воздуха** — вне факела градирни. В тёплом влажном выбросе он показывает «лето» посреди зимы.
- **Отборы давления** — с кранами, чтобы менять датчик без слива контура.

Рисунок 37 КИП открытого контура: точки установки. Позиции 1–18 — по таблице раздела 9.2, 19 и 20 — клапаны подпитки и продувки



9.3. КИП закрытой градирни и испарительного конденсатора

Закрытая градирня добавляет второй контур, и перечень делится на две части.

Внутренний контур (змеевик):

- температура на входе и выходе змеевика — регулирование и защита от замерзания;
- давление на входе и выходе, перепад по змеевику — контроль расхода и засорения;
- расход через змеевик — минимальный расход для защиты от замерзания, если в змеевике вода без гликоля;
- давление в контуре и уровень в расширительном баке — утечки, подпитка;
- для гликолевого контура — периодический контроль концентрации рефрактометром. В перечень КИП он не входит, но записывается в эксплуатационные требования.

Контур орошения:

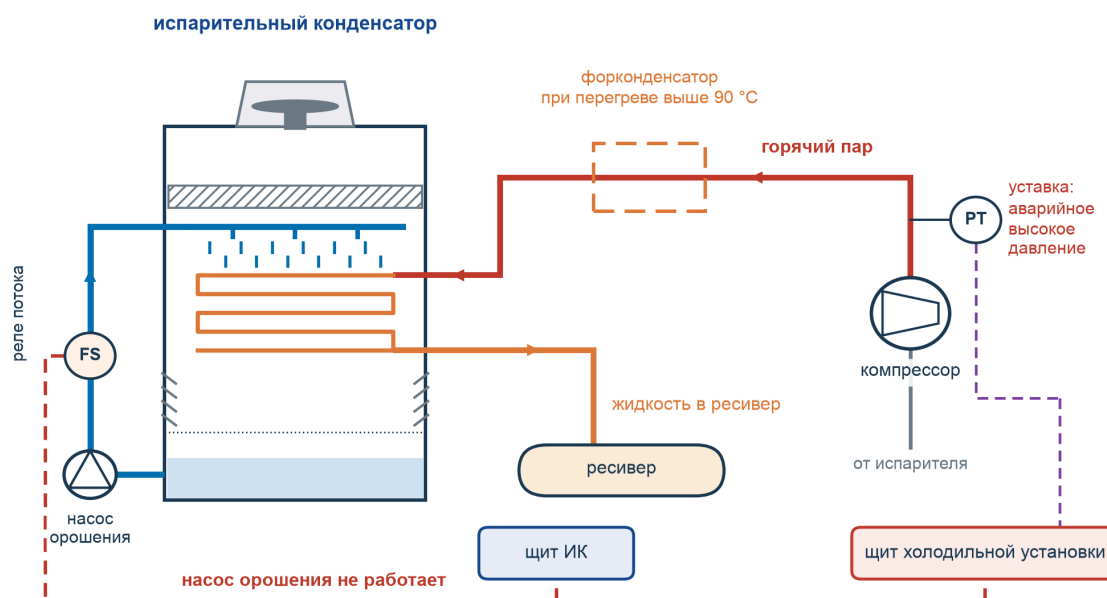
- уровень поддона, аварийные уровни, температура поддона;
- работа насоса орошения — реле потока или давления на стояке, а не только сигнал пускателя: пускатель включён, а вода не идёт, если насос сорван;
- электропроводность, водомеры подпитки и продувки;
- положение автоматического дренажного клапана поддона для сухого режима (концевой выключатель).

Испарительный конденсатор (ИК). Главный регулируемый параметр — давление конденсации. Датчик давления ставят на нагнетании компрессоров или на входе в ИК; датчики холодильной части и защиту по высокому давлению проектирует холодильщик. Цена отказа здесь другая:

остановился насос орошения — давление конденсации растёт за минуты, и компрессоры уходят в аварию.

Поэтому сигнал «насос орошения не работает» (реле потока или давления на стояке) идёт в щит холодильной установки, а не только в щит аппарата. Кроме него в холодильную установку уходят: работа вентиляторов, авария вентиляторов, низкий уровень в поддоне.

Рисунок 38 Испарительный конденсатор: какие сигналы уходят в щит холодильной установки



ВНИМАНИЕ

Резерв орошения ИК. На критичных объектах закладывают секцию или двигатель в горячем резерве либо общий выносной бак с резервным насосом. Нормы на ИК как оборудование под давлением — в разделе 11.

9.4. Регулирование температуры воды: каскад и частотное управление

Уставка. Постоянная уставка проста, но в прохладные часы не даёт чиллеру выиграть на холодной воде. Практика — плавающая уставка: температура мокрого термометра плюс недоохлаждение до мокрого термометра (approach). В эксплуатации держат около 3,9 К над мокрым термометром. Снизу уставку ограничивают минимальной температурой воды, которую допускает потребитель: для чиллера — по паспорту конденсатора, для технологии — по регламенту. Если технология требует постоянной температуры, уставку фиксируют, а экономию берут только на ЧРП.

Нижние пределы воды на выходе, которые дают производители испарительного оборудования: **открытая градирня — не ниже 5 °C, закрытая — не ниже 10 °C**. Реальная уставка обычно выше: её задаёт потребитель, а не градирня.

Ограничения для вентиляторов, которые переносят в описание алгоритма (типовые требования производителей; для конкретной модели — по паспорту):

- не больше 6 пусков в час;

- ЧРП не ниже 30 % номинальной скорости, то есть 15 Гц при 50 Гц;
- у двухскоростного двигателя пауза при переключении скоростей не меньше 15 с;
- на половинной скорости градирня даёт около 60 % производительности, на двух третях — около 70 %;
- сначала насос, потом вентилятор.

Частотным приводам вентиляторов градирен посвящён документ СТИ ESG-151 (январь 2020).

Почему все вентиляторы вместе. Мощность вентилятора пропорциональна кубу скорости: $N_2 / N_1 = (n_2 / n_1)^3$. Две секции на половинной скорости берут $2 \times 0,5^3 = 0,25$ мощности одного вентилятора на полной скорости, а дают по 60 %, то есть 120 % производительности одной секции. Условие: вода распределена по всем секциям, и каждая работает не ниже своего минимального расхода. Не всякая градирня нормально работает на 50 % расхода в горячем бассейне — это спрашивают у производителя.

Каскад при росте нагрузки:

1. Включить по воде все секции.
2. Пустить вентиляторы по одному на минимальной скорости 30 %.
3. Когда работают все, поднимать скорость всех вентиляторов вместе от 30 до 100 %.

При снижении нагрузки — в обратном порядке: все вентиляторы вниз до 30 %, затем отключение по одному, затем байпас.

Расчёт экономии ЧРП по шагам. Условная градирня: установленная мощность вентиляторов 60 кВт (подставьте из подбора), работа 8000 ч в год, средняя потребность в воздухе 60 % от номинала.

1. Без ЧРП, регулирование включением и выключением: средняя мощность пропорциональна доле работы, $60 \times 0,6 = 36$ кВт.
2. С ЧРП на 60 % скорости: $60 \times 0,6^3 = 13,0$ кВт. Потери в преобразователе и отличие реальной характеристики от закона куба съедают часть выигрыша — прибавим 10 %: **14,3 кВт.**
3. Экономия: $(36 - 14,3) \times 8000 = 173\,600$ кВт·ч в год.
4. В деньгах при тарифе 6 руб/кВт·ч — **1,04 млн руб в год.** Тариф здесь только для примера, в ТЭО подставляют тариф заказчика.

Средняя загрузка 60 % — допущение. При круглогодичной нагрузке и холодной зиме она ниже, и выигрыш ЧРП больше; на летнем кондиционировании часов меньше, и выигрыш меньше. Для 15, 30 и 120 кВт установленной мощности та же арифметика даёт 43, 87 и 348 тыс. кВт·ч в год.

Ночной малозумный режим. Если градирня не проходит по ночной норме шума (раздел 11), алгоритм снижает скорость вентиляторов ночью. Оценка по законам подобия: $\Delta L \approx 50 \cdot \lg(n_1 / n_2)$, на 70 % оборотов — минус 7,7 дБ. Точные уровни на пониженных оборотах запрашивают у производителя.

ВНИМАНИЕ

Пониженные обороты и резонанс. Снижая обороты, вы снижаете лопастную частоту вентилятора. Колесо с 8 лопастями на 120 об/мин даёт 16 Гц, на 70 % оборотов — около 11 Гц. Собственные частоты междуэтажных перекрытий обычно 8–15 Гц, лёгких металлических площадок — 5–12 Гц. Ночную уставку проверяют на пусконаладке разгоном с шагом по оборотам и замером вибрации, а найденные резонансные полосы задают частотнику как частоты пропуска (skip frequencies).

9.5. Байпас и зимний алгоритм

Байпас нужен, когда вентиляторы уже на минимуме или стоят, а вода всё ещё холоднее допустимого. Чаще всего это зима и пуск на холодном контуре.

Таблица 39 Байпас и зимний алгоритм

Вариант	Как работает	Плюсы	Что учесть
Байпас в поддон или бак	Вода не идёт на насадку, но проходит через поддон	Насадка не обмерзает при малой нагрузке, поддон тёплый	Основной вариант для открытой градирни
Полный обход градирни	Вода вообще не заходит в градирню	Контур прогревается быстрее	На пуске температура растёт быстро, чиллер может выбить по высокому давлению; вода в градирне стоит, её защищают от замерзания отдельно

Трёхходовой клапан ставят на отметке, где трубы над ним можно отсечь и слить, — например, чуть ниже кровли, с отсекающими клапанами и дренажами.

Зимний алгоритм открытой градирни:

1. Вентиляторы снижают скорость до минимума 30 %.
2. Останавливаются по одному.
3. При дальнейшем падении температуры открывается байпас.
4. При признаках обмерзания включается реверс вентилятора на низкой скорости по таймеру. Оттаивание реверсом описано в ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment 2024 (гл. 40); допускает ли его конкретная модель, смотрят у производителя.

Защита змеевика закрытой градирни, если в нём вода без гликоля:

- постоянный минимальный расход через змеевик;
- температура на выходе не ниже 7 °C, для оцинкованных змеевиков — не ниже 10 °C;
- при нехватке нагрузки — дополнительный нагрев;
- автоматический дренаж и воздушник срабатывают при 7 °C (10 °C для оцинкованных змеевиков).

Слив змеевика — аварийная мера, а не режим: частый слив вызывает коррозию изнутри.

Сухой режим закрытых градирен с оребрённым змеевиком и ИК. Переход сезонный: по температуре наружного воздуха с большим гистерезисом и подтверждением оператора или по календарю. Последовательность:

1. Остановить насос орошения.
2. Открыть автоматический дренаж поддона и стояка.
3. Перекрыть и слить подпитку.
4. Проверить концевым выключателем, что дренажный клапан открыт.
5. Разрешить работу вентиляторов в сухом режиме.

Весной — в обратном порядке, с промывкой поддона перед заполнением. Переключать мокрый и сухой режимы для регулирования мощности нельзя: попеременное смачивание и высыхание даёт накипь на змеевике. По той же причине мощность не регулируют насосом орошения — он работает постоянно.

9.6. Продувка по электропроводности

Контроллер сравнивает электропроводность воды в контуре с уставкой и открывает клапан продувки (blowdown), пока проводимость не упадёт на величину гистерезиса.

Уставка: $\sigma_{\text{уст}} = N \times \sigma_{\text{подп}}$, где N — циклы упаривания (cycles of concentration), $\sigma_{\text{подп}}$ — электропроводность подпиточной воды. Результат проверяют по пределу для самого чувствительного материала контура; для оцинкованной стали предел — 2400 мкСм/см.

Пример по шагам.

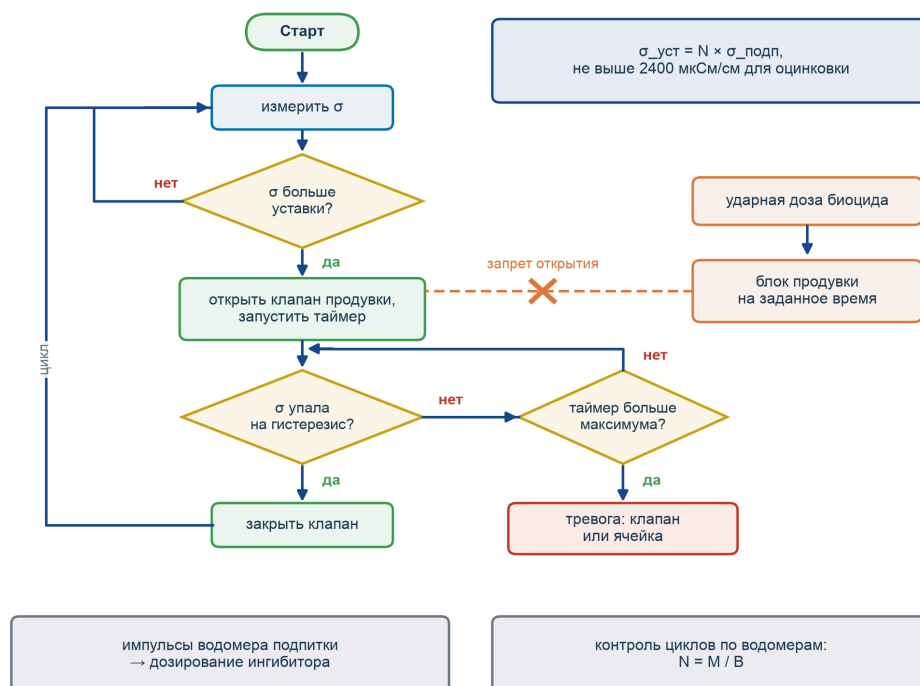
1. Подпитка 400 мкСм/см, целевые циклы $N = 5$: уставка $5 \times 400 = 2000$ мкСм/см — ниже предела 2400, принимаем.
2. Подпитка 600 мкСм/см: пять циклов дали бы 3000 мкСм/см — выше предела.
3. Допустимые циклы: $N = 2400 / 600 = 4$. Уставку ставят с запасом вниз, например 2200 мкСм/см.

В практике встречаются « типовые » уставки 1000–1200 мкСм/см, но документом они не подтверждены. Уставку в проекте всегда считают от анализа подпиточной воды (раздел 10).

Что ещё закладывают в алгоритм:

- гистерезис, чтобы клапан не щёлкал каждые несколько секунд;
- максимальное время открытия клапана — тревога, если проводимость не падает: забит клапан или ячейка;
- дозирование ингибитора пропорционально подпитке, по импульсам водомера;
- запрет продувки на заданное время после ударной дозы биоцида, чтобы биоцид не ушёл в канализацию раньше, чем сработал;
- контроль циклов по двум водомерам: $N = M / V$, где M — подпитка, V — продувка. Если циклы по проводимости и по хлоридам расходятся (например, 6 и 4), часть солей уже осела в контуре.

Рисунок 39 Продувка по электропроводности: логика контроллера



ПРИМЕЧАНИЕ

Сколько стоит ручная продувка. Открытый контур 1000 м³/ч, 35 → 28 °С, испарение 12,6 м³/ч. Ручной кран, открытый «с запасом», фактически держит 2 цикла: продувка 12,6 / (2 – 1) = 12,6 м³/ч. Автоматика держит 5 циклов: 12,6 / (5 – 1) = 3,15 м³/ч. Разница 9,45 м³/ч уходит и из подпитки, и в стоки. При тарифах 60 руб/м³ на воду и 40 руб/м³ на стоки (подставьте тарифы заказчика) это 945 руб/ч, за 4000 ч мокрого сезона — около 3,8 млн руб в год. Панель с продувкой по проводимости и два водомера окупаются за сезон.

9.7. Подпитка, ТЭНы и блокировки

Блокировки — то, что должно сработать без оператора. Их перечень передают в раздел автоматизации отдельным списком, а самые важные дублируют в схеме питания, помимо контроллера.

Таблица 40 Подпитка, ТЭНы и блокировки

Событие	Действие автоматики	Где дублировать
Аварийный низкий уровень в поддоне или баке	Останов насосов, запрет ТЭНа	Цепь питания ТЭНа
Аварийный высокий уровень	Закреть клапан подпитки, тревога	Клапан закрывается помимо контроллера
Подпитка открыта дольше заданного времени	Тревога «утечка»	—
Насос циркуляции или орошения не работает	Запрет пуска вентиляторов («сначала насос, потом вентилятор»)	Реле потока или давления, не только пускатель
Срабатывание вибровыключателя	Аварийный останов вентилятора	—
Исчерпан лимит 6 пусков вентилятора в час	Запрет следующего пуска до конца часа	Настройка ЧРП или контроллера

Событие	Действие автоматики	Где дублировать
Температура на выходе змеевика ниже 7 °С (10 °С для оцинкованного)	Минимальный расход, дополнительный нагрев, затем автодренаж	Термостат на змеевике
Клапан продувки открыт дольше максимума	Тревога «клапан или ячейка»	—
Ударная доза биоцида	Запрет продувки на заданное время	—
Дренажный клапан поддона не подтвердил открытие	Запрет сухого режима вентиляторов	Концевой выключатель

Подпитка — по аналоговому уровню с двумя порогами.

ТЭН поддона включается только при трёх условиях: поддон холоднее уставки (типовое значение — 4,4 °С), уровень выше аварийного минимума, насосы стоят. ТЭН защищает от замерзания поддон при стоящем насосе. Контур он не греет и змеевик не защищает: контур греют байпасом на тепле нагрузки.

9.8. Сигналы в диспетчерскую и смежным щитам

Формулировка «автоматика комплектно с оборудованием» — частая причина замечаний экспертизы. В проекте должен быть перечень сигналов наверх и между щитами.

Таблица 41 Сигналы в диспетчерскую и смежным щитам

Куда	Что передаём	Способ
Щит chillera или холодильной установки	Разрешение работы, общая авария контура, уставка; для ИК — «насос орошения не работает», работа и авария вентиляторов, низкий уровень в поддоне	Сухой контакт или 4–20 мА
Диспетчерская (SCADA или BMS)	Температуры горячей и холодной воды, наружного воздуха; уровень; электропроводность; расходы циркуляции, подпитки и продувки; частота ЧРП и состояние насосов; положение байпаса; все аварии и журнал	Цифровой протокол поставщика щита
Панель водоподготовки	Импульсы водомера подпитки для дозирования, сигнал ударной дозы биоцида для запрета продувки	Импульсный выход, сухой контакт
Из диспетчерской	Дистанционный пуск и останов, смена уставки, переход в зимний или сухой режим с подтверждением оператора	Цифровой протокол или сухой контакт

На стадии П достаточно перечня функций и сигналов, на стадии Р — функциональные схемы автоматизации с позициями по ГОСТ 21.208-2013, опросные листы на каждый прибор по ГОСТ 21.408-2013 и карта регистров от поставщика щита.

10. Качество воды

Градирия работает тем дольше, чем лучше вода в контуре. Испарение уносит чистую воду, а соли, взвесь и бактерии остаются и концентрируются. Задача проекта — не подобрать реагенты (это работа водоподготовщика), а дать водоподготовке всё, без чего она невозможна: пределы качества, продувку, учёт, точки дозирования и отбора проб, фильтрацию.

10.1. Нормы для открытого и закрытого контура

Российской нормы нет. Действующего ГОСТ на качество воды оборотных систем охлаждения нет. Цифры, которые ходят по интернету (жёсткость 5–7 мг-экв/л, взвесь до 25 мг/л, хлориды 300–500 мг/л), — справочные, без действующего документа; ссылаться на них как на норму нельзя. В СП 31.13330.2021 раздела об охлаждающих системах оборотного водоснабжения нет. Поэтому в проекте опираются на предельные значения производителей градириен и материалов контура.

Кто задаёт предел. В открытом контуре это почти никогда не градирия: корпус градириен NCT полимерный, форсунки полипропиленовые, крепёж нержавеющей. Ограничивает самый чувствительный материал всего контура — теплообменник потребителя, конденсатор чиллера, оцинкованные трубы и баки. Поэтому таблицу требований проектировщик собирает по спецификации всего контура. В контуре орошения закрытой градирии и ИК предел задаёт змеевик: у NCT он из углеродистой стали с горячим цинкованием.

Предельные значения оборотной воды по руководствам производителей градириен:

Таблица 42 Нормы для открытого и закрытого контура

Показатель	Полимерный композит (корпус открытой градирии)	Горячая оцинковка (змеевик закрытой градирии, баки, трубы)	Нержавеющая сталь 304 / 304L	Нержавеющая сталь 316 / 316L
pH	6,5–9,0	6,5–9,0	6,5–9,2	6,5–9,5
pH на время пассивации цинка	—	ниже 8,2	ниже 8,2 (если змеевик оцинкован)	не требуется
Общая жёсткость, мг/л CaCO ₃	30–500	50–600	50–750	50–750
Щёлочность, мг/л CaCO ₃	≤ 500	≤ 500	≤ 600	≤ 600
Солесодержание (TDS, total dissolved solids), мг/л	≤ 1500	≤ 1500	≤ 2050	≤ 2500
Электропроводность, мкСм/см	≤ 1800	≤ 2400	≤ 3300	≤ 4000
Хлориды, мг/л	≤ 250	≤ 250	≤ 300	≤ 750
Сульфаты, мг/л	≤ 250	≤ 250*	≤ 350*	≤ 750*
Взвешенные вещества, мг/л	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25
Свободный хлор постоянно, мг/л	≤ 2	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2

Показатель	Полимерный композит (корпус открытой градирни)	Горячая оцинковка (змеевик закрытой градирни, баки, трубы)	Нержавеющая сталь 304 / 304L	Нержавеющая сталь 316 / 316L
Свободный хлор ударно (чистка, дезинфекция)	5–15 мг/л до 6 ч	5–15 мг/л до 6 ч; 25 мг/л до 2 ч; 50 мг/л до 1 ч	то же	то же

* Сульфатов можно больше, если сумма хлоридов и сульфатов не выше 500 мг/л (оцинковка), 650 мг/л (нержавейка 304) или 1500 мг/л (нержавейка 316).

Для корпусов открытых градирен из оцинкованной стали в руководствах встречаются и более жёсткие пределы: солесодержание до 1000 мг/л, хлориды и сульфаты до 125 мг/л каждые, электропроводность до 1200 мкСм/см. Если в открытом контуре много оцинковки, сверяйте пределы с паспортом конкретного изделия и берите более строгие.

Дополнительные условия, которые переносят в проект:

- жёсткость подпитки — не ниже 30 мг/л CaCO₃: полностью умягчённая вода агрессивна к металлу; если подпитку умягчают, подмешивают сырую воду до остаточной жёсткости 30–70 мг/л;
- при обработке воды озоном весь контур — нержавейка 316;
- кислотой накипь не регулируют (исключение — очень большой объём с выносным баком или нержавеющей контур);
- реагенты дозируют автоматически в нагнетание насоса, концентрат прямо в поддон не льют;
- кремний в подпитке выше 25–30 мг/л обычной химией не лечится — нужен отдельный разбор с инженером водоподготовки;
- если вода постоянно выходит за таблицу, производитель вправе снять гарантию. Таблицу требований прикладывают к договору поставки и к ТЗ водоподготовщика.

Пассивация оцинковки. Новый цинк в первые недели мокрой работы должен покрыться плотной защитной плёнкой. При высоком pH вместо неё растёт рыхлая белая ржавчина (white rust) — это происходит при pH выше 8,3 и избытке карбонатов. Данные производителей расходятся (pH 7,0–8,2, кальциевая жёсткость от 50 до 300 мг/л, 4–12 недель), поэтому в проекте берите самое строгое: **pH 7,0–8,0, кальциевая жёсткость 100–300 мг/л, 8 недель.** Профильный документ — STI WTG-142.

В проекте пассивация превращается в три вещи: раздел в пояснительной записке с режимом пусковых недель и ответственным, точку отбора проб и возможность работать с циркуляцией без тепловой нагрузки.

ВНИМАНИЕ

Типовая программа стороннего водоподготовщика держит pH 8,5–9,0. На свежей оцинковке это за один-два сезона съедает покрытие, рассчитанное на много лет, и химией это не лечится. Если водоподготовку ведёт третья сторона, запишите режим пассивации отдельным пунктом в её ТЗ.

Внутренний контур закрытой градирни — замкнутый, под давлением, почти без расхода. Здесь главное — не пустить кислород: расширительный бак только мембранный (стандартные змеевики рассчитаны на закрытые системы; для контура с открытым баком нужен нержавеющий змеевик), воздухоотводчики в верхних точках, сетчатый фильтр перед змеевиками с манометром.

метрами до и после. Первую промывку после монтажа ведут через байпас, до открытия змеевиков. Счётчик на подпитке — главный прибор диагностики: кубометры подпитки в месяц означают течь.

10.2. Продувка и циклы концентрирования

Испарение уносит чистую воду, соли остаются. Отношение солесодержания в контуре к солесодержанию подпитки — циклы концентрирования (cycles of concentration, N). Держит их продувка (blowdown): $B = E / (N - 1)$, где E — испарение. Полный расчёт водного баланса, продувки и подпитки — в разделе 4. Здесь — как выбрать N и как устроить продувку.

Предел задаёт самый слабый показатель. Допустимые циклы считают отдельно по каждому показателю и берут наименьшее: $N = C_{\text{предел}} / C_{\text{подпитки}}$.

Пример. Потребитель — пластинчатый теплообменник из нержавеющей стали 304. Анализ подпитки (условный): хлориды 45 мг/л, жёсткость 180 мг/л, щёлочность 150 мг/л, электропроводность 450 мкСм/см.

Таблица 43 Продувка и циклы концентрирования

Показатель	Подпитка	Предел (нерж. 304)	N
Хлориды	45 мг/л	300 мг/л	6,67
Общая жёсткость	180 мг/л	750 мг/л	4,17
Щёлочность	150 мг/л	600 мг/л	4,00
Электропроводность	450 мкСм/см	3300 мкСм/см	7,33

Итог: предел N = 4,0 по щёлочности, рабочая уставка 3,5–4,0. Таблица пределов — это защита от коррозии; склонность к накипи при температуре горячей воды проверяет инженер водоподготовки по индексам насыщения, и при необходимости N снижают. Для реки нужны анализы в межень и в паводок: состав меняется в разы.

Обычный диапазон на практике — 3–6 циклов. После 5–6 циклов экономия подпитки почти не растёт, а риск накипи и расход ингибитора растут.

Как устроить продувку:

- автоматически, по электропроводности: уставка = проводимость подпитки × N. В примере предел $450 \times 4 = 1800$ мкСм/см, клапан открывается на 1800 и закрывается на 1710;
- отбор — с напорного трубопровода после насоса, где вода перемешана и есть давление; при нескольких градирнях хорошо брать продувку из уравнивающей линии между поддонами — вода в ней перестаёт стоять;
- клапан — нормально закрытый, с электроприводом, диаметр — на худший режим (N = 2); перед ним сетчатый фильтр, после — расходомер; выпуск через разрыв струи;
- расходомеры с импульсным выходом на подпитке и на продувке: без них циклы не посчитать;
- не годятся: перелив вместо продувки, ручной кран «на глаз», слив со дна поддона;
- сброс продувки — по ТУ владельца сети: в ней соли в N раз выше подпитки, остатки ингибитора и биоцида.

Бесплатная проверка на объекте. Считайте циклы по двум показателям — электропроводности и хлоридам. Хлориды не выпадают в осадок. Если по хлоридам выходит 6, а по проводимости

4, часть солей уже осела на поверхностях. Для этой проверки нужны точки отбора проб из подпитки и из контура.

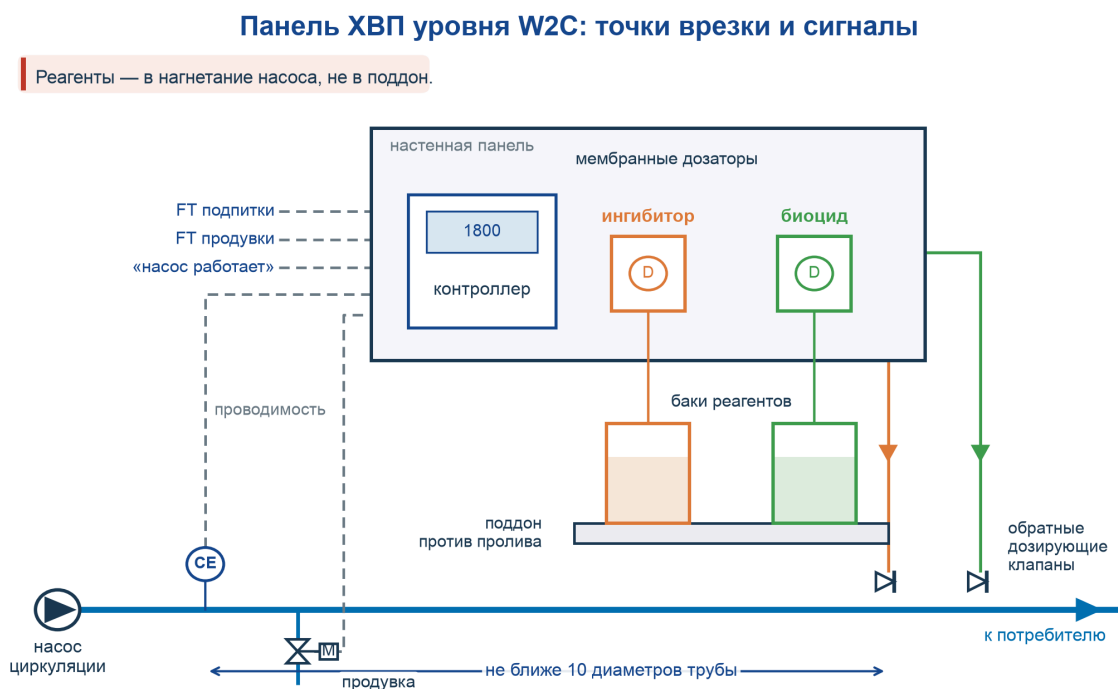
10.3. Обработка воды и панель ХВП

Химводоподготовка (ХВП) решает четыре задачи: накипь, коррозию, загрязнение (fouling) и биологию, включая биоплёнку (biofilm). Эти беды кормят друг друга: отложения прячут металл от ингибитора, под ними идёт язвенная коррозия, продукты коррозии кормят бактерии, а биоплёнка удерживает кристаллы накипи. Поэтому одна продувка без дозирования работает только на заведомо хорошей воде.

Что проектировщик рисует для водоподготовки:

- **врезка дозирования** — в напорный трубопровод после насоса через обратный дозирующий клапан, не ближе 5–10 диаметров трубы от датчика проводимости;
- **место под панель и баки реагентов** — в отапливаемом помещении, с поддоном против пролива, водой для промывки и вентилиацией, если её требует паспорт безопасности реагента;
- **точки отбора проб** — подпитка, горячая вода до градирни, холодная вода после поддона; в месте с постоянным током воды, доступные без лестницы;
- **сигналы** — уровни, расходы подпитки и продувки, проводимость и обязательно «насос циркуляции работает»: без него дозирование на стоящем контуре даёт ударную концентрацию реагента;
- **кран для погружных пластин** (dip slides) — еженедельный контроль общего микробного числа.

Рисунок 40 Панель ХВП с двумя дозирующими насосами: точки врезки и сигналы



Панели ХВП NCT — настенные, IP65, три исполнения:

Таблица 44 Обработка воды и панель ХВП

Исполнение	Что делает	Когда применять
W0C	контроль проводимости и автоматическая продувка, без дозирования	заведомо хорошая вода, небольшой контур
W2C	плюс дозирование ингибитора и биоцида, два насоса	стандарт по умолчанию
W3C	полная автоматика, учёт подпитки, три реагента по графику	сложная вода, крупные контуры

Панель подбирают только по анализу воды. Для контура орошения закрытой градирни и ИК логика та же: дозирование в нагнетание насоса орошения (или в напорную линию из выносного бака), продувка оттуда же. При нескольких аппаратах с собственными поддонами у каждого своя продувка и своё дозирование.

10.4. Фильтрация

Открытая градирня работает как воздушный скруббер: на 1000 м³/ч через неё проходит около 610 000 м³/ч воздуха, и даже при 0,1 мг/м³ пыли это около 1,5 кг грязи в сутки. Ещё взвесь приходит с подпиткой и рождается в самом контуре (коррозия, накипь, биоплёнка). Взвесь в градирнях — 1–50 мкм, и 90 % частиц мельче 10 мкм. Химия её не убирает, взвесь вынимают физически. Но и фильтр без ХВП результат не держит: фильтр и водоподготовка идут в проекте парой.

Три места для фильтра:

- **полный поток** — для защиты конкретного аппарата с узкими каналами (пластинчатый теплообменник) и от крупного мусора. Нужен байпас; сетчатые фильтры ставят в нагнетание, а не на всас насоса;
- **боковой поток** (side-stream filtration) — через фильтр постоянно идёт 3–7 % расхода циркуляции (до 10 % по другим данным), за сутки весь объём системы проходит через фильтр несколько раз. Забился фильтр — потребитель этого не заметит. Руководство — СТИ WTG-122;
- **подпитка** — если больше половины взвеси приходит с подпиткой (речная вода в паводок несёт 50–100 мг/л), фильтруют подпитку: это дешевле, и грязь не успевает сконцентрироваться в контуре в N раз.

Расчёт бокового потока — берут большее из двух:

1. Доля от циркуляции: $Q_{\text{ф}} = 0,03...0,07 \cdot G$. Для 1000 м³/ч — 30–70 м³/ч. 2. Обороты объёма: $Q_{\text{ф}} = n \cdot V / 24$, где $n = 6-8$ оборотов объёма системы в сутки. Типовая система без выносного бака — около 10 минут циркуляции, $V = 167$ м³ для 1000 м³/ч: $Q_{\text{ф}} = 6 \cdot 167 / 24 = 41,7$ м³/ч. 3. **Итог для 1000 м³/ч: 50 м³/ч** (5 %, это 7,2 оборота в сутки). Если в контуре большой бак, считайте по оборотам: при $V = 333$ м³ те же 5 % дают всего 3,6 оборота, и фильтр нужен почти вдвое больше.

Нижняя граница применимости — циркуляция около 100 м³/ч. На меньших контурах хватает решётки в поддоне и картриджа.

Таблица 45 Выбор типа — по анализу частиц

Технология	Тонкость	Сброс на промывку	Когда выбирать
Гидроциклон	40–75 мкм, тяжёлые частицы	0–1 %	окалина, песок; органику не ловит; расход ±25 %, на частотнике — свой насос

Технология	Тонкость	Сброс на промывку	Когда выбирать
Самопромывной сетчатый	10–50 мкм	< 1–3 %	вода дорогая или сброс ограничен; нужно 2,4–10 бар на входе
Дисковый	10–20 мкм	1–3 %	органика; при взвеси выше 50 мг/л частые промывки
Многослойный (песок, антрацит, гранат)	до 10 мкм	5–10 %	нужна тонкость и есть дешёвая вода
Мешочный, картриджный	0,5–200 мкм	около 0	малые расходы; ручная замена

ВНИМАНИЕ

Промывка ограничивает циклы. Вода промывки уходит с солями, как продувка: $N_{\max} = 1 + E / Q_{\text{пром}}$. На 1000 м³/ч ($E = 12,6 \text{ м}^3/\text{ч}$) многослойный фильтр с промывкой 7,5 % от 50 м³/ч сбрасывает 3,75 м³/ч, и циклы выше 4,4 не поднять. Самопромывной сетчатый с промывкой 2 % даёт предел 13,6 — не мешает. Если фильтр ставят ради высоких циклов, проверьте это до выбора типа.

Обвязка узла: отбор с напора основного насоса (отбор закладывают в подбор насоса сразу) или своим насосом; возврат — на противоположную от всаса сторону поддона, не струёй в дно; промывка — в линию продувки до расходомера продувки, иначе автоматика неверно считает циклы; дренаж — на мгновенный расход промывки из паспорта фильтра; время хода клапанов промывки не меньше 3–5 с; манометры и дифференциальное реле, краны проб до и после фильтра. Корпус фильтра на напорной линии — сосуд под давлением: если заказчику нужен пакет документов по ТР ТС 032 (паспорт по ГОСТ 34347, расчёт на прочность), пишите это в ТЗ сразу.

Первая ступень — решётка в поддоне: у открытых градилен NCT она встроена, ячейка 6 мм, площадь отверстий в 5,5 раза больше сечения патрубка. Если фильтр откладывают, врезку всё равно закладывают на стадии П: отводы с заглушками короче двух диаметров и место в насосной.

10.5. Легионелла: план контроля

Легионеллы живут в воде при 20–50 °С, прячутся в биоплёнке и разносятся аэрозолем уноса. СанПиН 3.3686-21 (глава XLII «Профилактика легионеллёза») относит градирни и испарительные конденсаторы промышленных предприятий к потенциально опасным системам и требует периодически исследовать воду на легионеллы. Прежние правила СП 3.1.2.2626-10 утратили силу. Пороги и периодичность отбора берите из действующей редакции СанПиН.

Мировая практика:

- **ANSI/ASHRAE Standard 188-2021** — программа управления водой (water management program): анализ опасностей, контрольные точки, пределы, мониторинг, записи;
- **ASHRAE Guideline 12-2023** — практическое приложение к Standard 188 с разделом по градирням;
- **CTI GLD-159 (2021)** — действующее руководство CTI по легионелле для градирен и испарительных конденсаторов; числа чаще цитируют из прежнего CTI WTB-148 (2008).

Пороги действий по CTI WTB-148:

Таблица 46 Легионелла: план контроля

Показатель	Значение	Действие
Общее микробное число	ниже 10 000 КОЕ/мл	норма
Общее микробное число регулярно	выше 100 000 КОЕ/мл	гипергалогенирование: не менее 5 мг/л свободного галогена 6 ч
Легионеллы	выше 100 КОЕ/мл	гипергалогенирование
Легионеллы	выше 1000 КОЕ/мл	аварийная дезинфекция: 25–50 мг/л свободного галогена, затем 10 мг/л 24 ч
Постоянное хлорирование	0,5–1,0 мг/л свободного хлора в горячей обратной воде	штатный режим

ВАЖНО

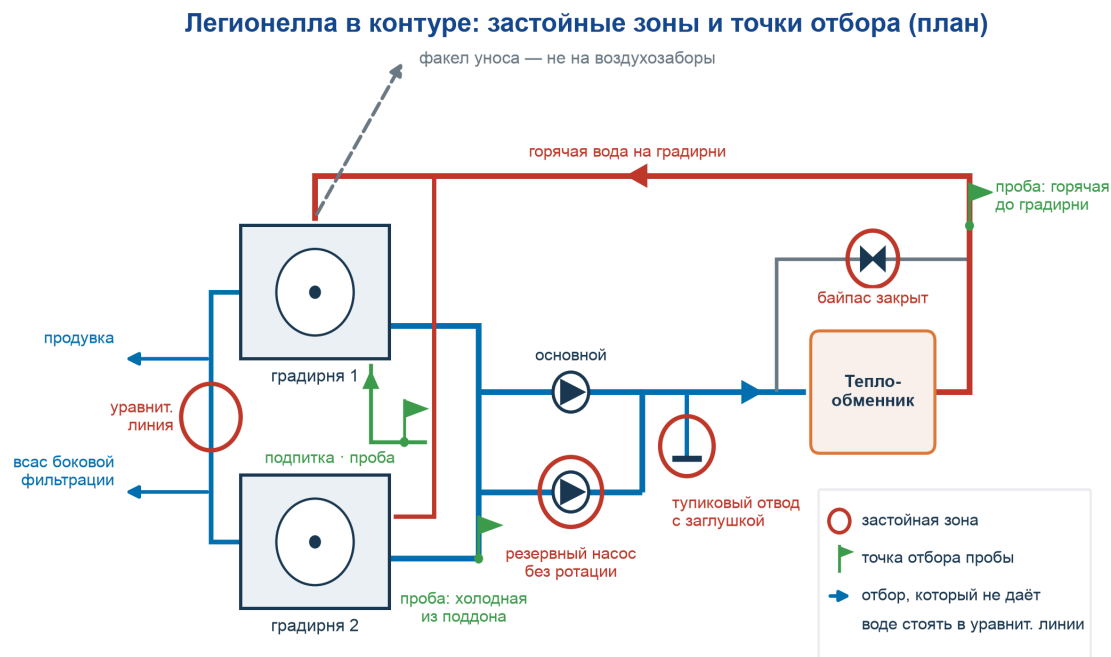
Проверьте единицы. КОЕ/мл и КОЕ/л отличаются в 1000 раз. СТИ считает в КОЕ/мл, британский HSG274 — в КОЕ/л. Прежде чем сравнивать анализ с порогом, сверьте единицы.

Ударные концентрации должны выдерживать градирня и весь контур: по таблице 10.1 — до 5–15 мг/л 6 ч, для оцинковки и нержавеющей также 25 мг/л до 2 ч и 50 мг/л до 1 ч. Если водоподготовщик планирует аварийную дезинфекцию с 10 мг/л в течение суток, сверьте это с паспортами градирни и материалов контура.

Что закладывают в проект:

- никаких тупиков и застойных зон: отводы «на будущее» короче двух диаметров или с продувочным краном, резервные насосы в ротации, байпасы, которые открывают раз в год, — под подозрением;
- уравнительные линии между поддонами не должны стоять: к ним подключают продувку или всас боковой фильтрации;
- высокоэффективные каплеуловители с уносом, измеренным по СТИ АТС-140;
- автоматическая продувка и дозирование биоцида, а не ручная работа;
- точки отбора проб на подпитке, горячей и холодной воде;
- боковая фильтрация: ил в поддоне — среда для биоплёнки;
- размещение: факел не попадает в воздухозаборы и на места пребывания людей (раздел 8.5).

Рисунок 41 Где в контуре прячется легионелла и где в проекте ставятся точки отбора



Чек-лист раздела 10: вода и водоподготовка

- ☐ Есть фактический анализ подпитки (для реки — в межень и в паводок).
- ☐ Таблица пределов качества воды собрана по самому слабому материалу контура и приложена к пояснительной записке и к ТЗ водоподготовщика.
- ☐ Рабочие циклы N посчитаны по каждому показателю, принято наименьшее с запасом.
- ☐ Продувка автоматическая по электропроводности, отбор с напора, клапан на худший режим, выпуск через разрыв струи, ТУ на сброс получены.
- ☐ На подпитке и продувке стоят расходомеры с импульсным выходом; промывка фильтров заведена до расходомера продувки.
- ☐ Показаны врезка дозирования в нагнетание насоса, место под панель ХВП и баки, сигнал «насос работает».
- ☐ Для оцинковки записан режим пассивации: pH 7,0–8,0, кальциевая жёсткость 100–300 мг/л, 8 недель, ответственный.
- ☐ Боковой поток посчитан по доле и по оборотам объёма; проверено, что промывка фильтра не ограничивает циклы.
- ☐ Точки отбора проб — на подпитке, горячей и холодной воде; нет тупиков и застойных участков.
- ☐ В пояснительной записке есть план контроля легионеллы: ссылка на СанПиН 3.3686-21, пороги действий, единицы измерения.

Правило прохода: без анализа подпитки, таблицы пределов и автоматической продувки с расходомерами раздел водоподготовки не выпускать — подобрать панель ХВП и обещать ресурс змеевика не на чем.

11. Российские нормы

11.1. Прямой нормы на расчёт градирни нет — и это надо написать

Действующего российского свода правил на тепловой расчёт градирни и водный баланс оборотного контура нет. Раздел «Охлаждающие системы оборотного водоснабжения» был в СНиП 2.04.02-84 (раздел 11) и в Пособии по проектированию градирен к нему (ВНИИ ВОДГЕО). В действующий СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» его не перенесли: слово «градирня» в своде не встречается ни разу.

Поэтому в пояснительной записке методику указывают явно:

- климатические параметры — по СП 131.13330.2025 «Строительная климатология»;
- тепловой расчёт градирни — производителя, по методике, соответствующей CTI STD-201RS, с указанием расчётной точки;
- водный баланс — по ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment 2024 (гл. 40), данным производителя градирни и CTI ATC-174 для годового испарения.

ВАЖНО

Не пишите «градирня подобрана по СП 31.13330.2021». Такого раздела в своде нет, и экспертиза спросит, где этот пункт. Так же не ссылайтесь на «ГОСТ на качество оборотной воды»: его не существует.

СП 131.13330.2025 утверждён приказом Минстроя от 08.08.2025 № 470/пр и введён 09.09.2025 вместо СП 131.13330.2020. Из него для контура берут две группы параметров:

- **тёплый период:** температура воздуха заданной обеспеченности и относительная влажность — из них психрометрическим расчётом получают температуру мокрого термометра (wet-bulb temperature) для летнего подбора;
- **холодный период:** температура наиболее холодной пятидневки и суток, абсолютный минимум, продолжительность периода с отрицательными температурами — для зимнего режима и защиты от замерзания.

Готового столбца «мокрый термометр» в своде нет. Его вычисляют или снимают с h-d-диаграммы. Пособие ВНИИ ВОДГЕО (табл. 7) даёт мокрый термометр готовым — при обеспеченности 1, 5 и 10 % за июнь–август, например для Москвы 20,8 / 19,0 / 17,9 °С. Но обеспеченность там летняя, а в СП 131 годовая: цифры двух источников напрямую несопоставимы. Источник и обеспеченность записывают в задание и в договор.

11.2. Документ — что из него берём

Таблица 47 Документ — что из него берём

Документ	Что из него берём для контура градирни
СП 131.13330.2025 «Строительная климатология»	Летние параметры для мокрого термометра, зимние — для обогрева, байпаса, гликоля
СанПиН 1.2.3685-21, табл. 5.35	Допустимый шум на территории, прилегающей к жилым домам: днём (7–23 ч) 55 дБА эквивалентный и 70 дБА максимальный, ночью (23–7 ч) 45 и 60 дБА
СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (с изменением № 4)	Методы расчёта шума на территории и мероприятия по защите

Документ	Что из него берём для контура градирни
СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03	Санитарно-защитная зона предприятия; сооружения оборотного водоснабжения допускается размещать в её границах, но шум и аэрозоль градирни входят в общий расчёт на границе зоны
СанПиН 3.3686-21, глава XLII «Профилактика легионеллёза»	Градирни и испарительные конденсаторы — потенциально опасные объекты, вода периодически исследуется на легионеллы. Пороги и периодичность — из действующей редакции документа. Прежние СП 3.1.2.2626-10 утратили силу
СанПиН 2.1.3684-21	Косвенно: качество подпитки из водопровода и сброс продувки
Технические условия водоканала (владельца сети)	Лимит подпитки, условия сброса продувки
ТР ТС 032/2013	Оборудование под давлением: испарительный конденсатор, фильтр полного потока. Для фильтра — паспорт по ГОСТ 34347, чертёж и расчёт на прочность; требование к документам пишут в спецификацию и ТЗ на закупку
ФНП «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» (приказ Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500)	Аммиачные установки с ИК. Срок действия — до 01.01.2027; перед выпуском проекта проверьте, что их заменило
Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 21.10.2025)	Состав разделов проектной документации. Действует до 01.09.2028
Градостроительный кодекс РФ, ст. 49	Государственная или негосударственная экспертиза в зависимости от объекта
ГОСТ Р 21.101-2020	Общие требования к проектной и рабочей документации
ГОСТ 21.110-2013	Спецификация оборудования, изделий и материалов
ГОСТ 21.208-2013	Условные обозначения КИП на схемах
ГОСТ 21.408-2013	Рабочая документация автоматизации, опросные листы на приборы
44-ФЗ	Товарный знак в документации — только со словами «или эквивалент», эквивалентность задают функциональными параметрами

Международные документы, на которые записка ссылается как на мировую практику: CTI STD-201RS (сертификация тепловой характеристики), CTI ATC-105 и ATC-105S (приёмочные испытания, раздел 12), CTI ATC-140 (унос), CTI ATC-174 (годовое испарение), ANSI/ASHRAE Standard 188-2021 (программа управления водой против легионеллы), ANSI/ASHRAE 62.1 (табл. 5-1: от выхлопа градирни до воздухозабора вентиляции не меньше 7,5 м).

ВНИМАНИЕ

Ночная норма шума решает. Градирня, которая работает круглосуточно, проверяется по ночным 45 дБА, а не по дневным 55. Расчёт по дневной норме даёт претензию на первом ночном замере. Как снизить шум ночью — раздел 9.4 и раздел 8.

11.3. Что спрашивает экспертиза

Замечания по контуру градирни повторяются от проекта к проекту. Почти все закрываются заранее.

Таблица 48 Что спрашивает экспертиза

Замечание	Почему возникает	Как закрыть заранее
Не обоснован расход подпитки и продувки	В записке «расход по данным завода»	Водный баланс с формулами, циклами и анализом подпитки (раздел 4)
Нет сведений о сбросе продувки	Продувку считают мелочью	Объём, состав, точка сброса, технические условия владельца сети
Расходы не совпадают между разделами	ВК, ТХ и ЭМ считали по разным ревизиям	Одна таблица исходных данных контура, на которую ссылаются все разделы
Не учтена масса градирни с водой	В КР взята сухая масса из каталога	Масса в рабочем состоянии от завода, нагрузка от снега и ветра
Нет оценки шума	Градирню считают тихой	Расчёт уровня на границе нормируемой территории, шумоглушители в спецификации
Не описана защита от замерзания	Зима «по месту»	Выбранная зимняя схема, мощность обогрева, дренажи, алгоритм (раздел 7)
Нет мероприятий по легионелле	СанПиН не открыт	Точки отбора проб, отсутствие тупиков, автоматическая продувка и биоцид, ссылка на СанПиН 3.3686-21 гл. XLII
Не описана автоматизация	«Автоматика комплектно с оборудованием»	Перечень функций, сигналов, блокировок и связь с диспетчерской (раздел 9)
Нет подтверждения соответствия оборудования	Не приложены сертификаты и декларации	Перечень документов на оборудование, для ИК — ТР ТС 032/2013
Не учтена энергоэффективность	Вентиляторы без регулирования	ЧРП или многоскоростные двигатели, обоснование в записке

ПРИМЕЧАНИЕ

Главный приём — одна таблица исходных данных контура. Расход, температуры, мокрый термометр по СП 131.13330.2025, нагрузка, испарение, циклы, продувка, массы, электрические нагрузки. Все разделы ссылаются на неё, и замечания о несогласованности почти исчезают.

11.4. Стадии П и Р: куда ложится контур

С 01.09.2022 (постановление Правительства РФ № 963) состав разделов проектной документации для объектов производственного и непроизводственного назначения такой: 1 — пояснительная записка, 2 — схема планировочной организации земельного участка, 3 — объёмно-планировочные и архитектурные решения, 4 — конструктивные решения, 5 — сведения об инженерном оборудовании, о сетях и системах инженерно-технического обеспечения, 6 — технологические решения, 7 — проект организации строительства, 8 — охрана окружающей среды, 9 — пожарная безопасность, 10 — требования к безопасной эксплуатации, 11 — доступ инвалидов, 12 — смета, 13 — иная документация.

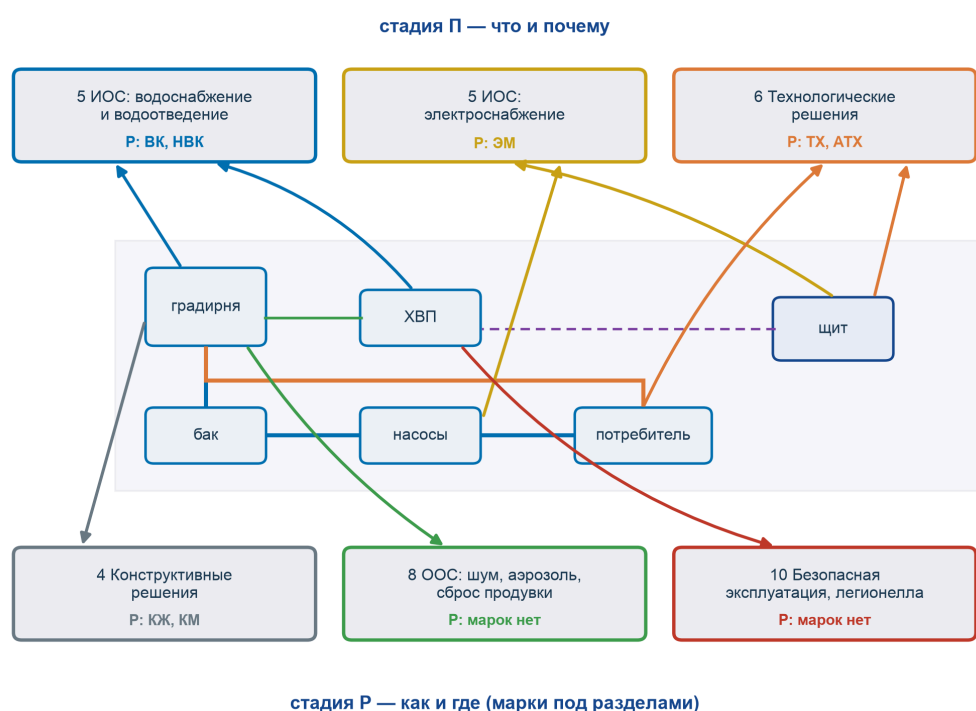
Таблица 49 Стадии П и Р: куда ложится контур

Что по контуру	Стадия П, раздел	Стадия Р, марка
Схема оборотного контура, водный баланс, подпитка, продувка, сброс	5, подразделы «Система водоснабжения» и «Система водоотведения»	ВК, НВК
Контур как часть технологии (охлаждение аппаратов, печей, компрессоров)	6 «Технологические решения»	ТХ

Что по контуру	Стадия П, раздел	Стадия Р, марка
Контур как часть холодоснабжения здания	5, подраздел отопления, вентиляции и кондиционирования	ОВ, ХС
Автоматизация, КИП, алгоритмы	В составе того подраздела 5 или раздела 6, к которому относится контур	АТХ, АОВ, АВК
Электроснабжение насосов, вентиляторов, ТЭНов, греющего кабеля	5, подраздел «Система электроснабжения»	ЭМ, ЭО
Фундаменты, рамы, площадки, нагрузки на кровлю	4	КЖ, КМ
Шум, аэрозоль, сброс продувки	8	—
Мероприятия по безопасной эксплуатации, легионелла	10	—

Отдельного раздела автоматизации в стадии П нет: описание систем автоматизации дают в том подразделе раздела 5 или в разделе 6, к которому относится контур.

Рисунок 42 Контур градирни в разделах стадии П и марках стадии Р



Что должно быть решено уже на П, а не отложено на Р:

- принципиальная схема контура и выбор зимней схемы;
- водный баланс с циклами и объёмом продувки — без него нет технических условий на сброс;
- тип и число градирен, их масса в рабочем состоянии, место размещения, расстояния;
- перечень основных сигналов и описание алгоритмов на уровне функций;
- электрические нагрузки с ТЭНами и греющим кабелем;
- уровень шума на границе ближайшей нормируемой территории.

Что добавляется на Р: функциональные схемы автоматизации с позициями, опросные листы на КИП, монтажные схемы, закладные под датчики на чертежах ВК и ТХ, кабельные журналы, спецификация по ГОСТ 21.110-2013.

Спецификация без потерь на закупке. Чтобы функция не потерялась, в спецификации должны быть: градирня с комплектацией (ЧРП, ТЭНы, каплеуловитель, исполнение для низких температур, площадки); насосы с расходом, напором, NPSHr, мощностью и резервом; бак с перечнем патрубков, переливом, дренажом, сеткой, утеплением; фильтры с толщиной и расходом; панель водоподготовки со стартовым набором реагентов и пусконаладкой отдельной строкой; водометры с импульсным выходом на подпитке и продувке; КИП по перечню, клапаны с приводами, щиты; греющий кабель с термостатами.

При закупке по 44-ФЗ вместо «градирня такой-то модели» задают функциональные параметры: расход, режим, мокрый термометр, arproach, уровень шума, унос, материалы змеевика и корпуса, требования к подтверждению тепловых характеристик (раздел 12).

12. Приёмка по мощности

Расчётная точка в ТЗ ничего не гарантирует, если не записано, как её проверят. Спор о мощности градирни решает не мгновенная температура на выходе, а процедура: кто мерил, чем, при какой погоде, в каком состоянии был аппарат и что стояло в договоре до начала работ. Для этого есть две группы документов CTI (Cooling Technology Institute, США): сертификация тепловой характеристики и приёмочные испытания на объекте.

12.1. Сертификация тепловой характеристики: CTI STD-201RS

CTI STD-201RS «Performance Rating of Evaporative Heat Rejection Equipment», редакция октября 2021 (сопутствующий STD-201OM — редакция сентября 2025), — программа сертификации. Производитель подтверждает, что его градирни выдают заявленную характеристику. Пределы сертификации по ответам CTI на частые вопросы (Rev. 6, 01.07.2022):

Таблица 50 Сертификация тепловой характеристики: CTI STD-201RS

Параметр	Предел сертификации
Температура мокрого термометра	10–32,2 °C
Температура жидкости	не выше 51,7 °C
Перепад (range)	не меньше 2,2 K
Недоохлаждение до мокрого термометра (approach)	не меньше 2,8 K
Температура конденсации для испарительных конденсаторов	не выше 43,3 °C

Если расчётная точка вне этих пределов — вода горячее 51,7 °C или approach меньше 2,8 K, — за неё отвечает только производитель, и это должно быть видно в договоре. Approach 2 K в ТЗ «для надёжности» — не требование лучшей градирни, а точка вне сертифицированной зоны: на приёмке спорить будет не с чем.

Формулировка для ТЗ: «Тепловая характеристика подтверждена сертификацией CTI по STD-201RS или Eurovent либо, при её отсутствии, расчётом производителя с обязательством провести приёмочные испытания».

12.2. Приёмочные испытания: какой документ под какой аппарат

Таблица 51 Приёмочные испытания: какой документ под какой аппарат

Аппарат	Методика испытаний	Как считают результат
Открытая градирня	CTI ATC-105 «Acceptance Test Code for Water Cooling Towers» (версия 2019, ревизия сентября 2022)	Метод характеристической кривой KaV/L против L/G
Закрытая градирня	CTI ATC-105S «Acceptance Test Code for Closed Circuit Cooling Towers» (2011)	Метод рабочих кривых; мерят расход и температуры жидкости в змеевике, а не воды орошения
Сухой охладитель	CTI ATC-105DS (2018)	Метод рабочих кривых
Испарительный конденсатор	CTI ATC-106	—
Капельный унос (drift)	CTI ATC-140 (ревизия февраля 2023), изокINETический метод	—

Формулировка «испытания по АТС-105» для закрытой градирни некорректна: для неё действует АТС-105S с другой математикой. Пишите код точно, с редакцией и годом.

Что АТС-105 требует до испытания:

- испытание проводит **независимая лаборатория, лицензированная СТИ**, без интереса в результате. Замеры службы эксплуатации заказчика или производителя испытанием по коду не являются;
- присутствуют уполномоченные представители покупателя и производителя, ни одна сторона не может быть не допущена на площадку;
- испытание проводят **в течение 12 месяцев эксплуатации**, если договор не говорит иное;
- плёночная насадка **отработала не меньше 1000 ч под тепловой нагрузкой** (приработка, seasoning);
- водораспределение и сопла чистые, вентиляторы вращаются в правильную сторону, лопасти под одинаковым углом, каплеуловители и насадка без отложений, уровень в поддоне рабочий и постоянный, байпаса мимо насадки нет.

Для закрытой градирни добавляется: концентрация гликоля отличается от договорной **не больше чем на 10 %** — иначе испытание теряет статус приёмочного; запас на эксплуатационное загрязнение согласуют **до** испытания.

12.3. Что мерить и где ставить точки замеров

Рисунок 43 Точки замеров при приёмочных испытаниях градирни

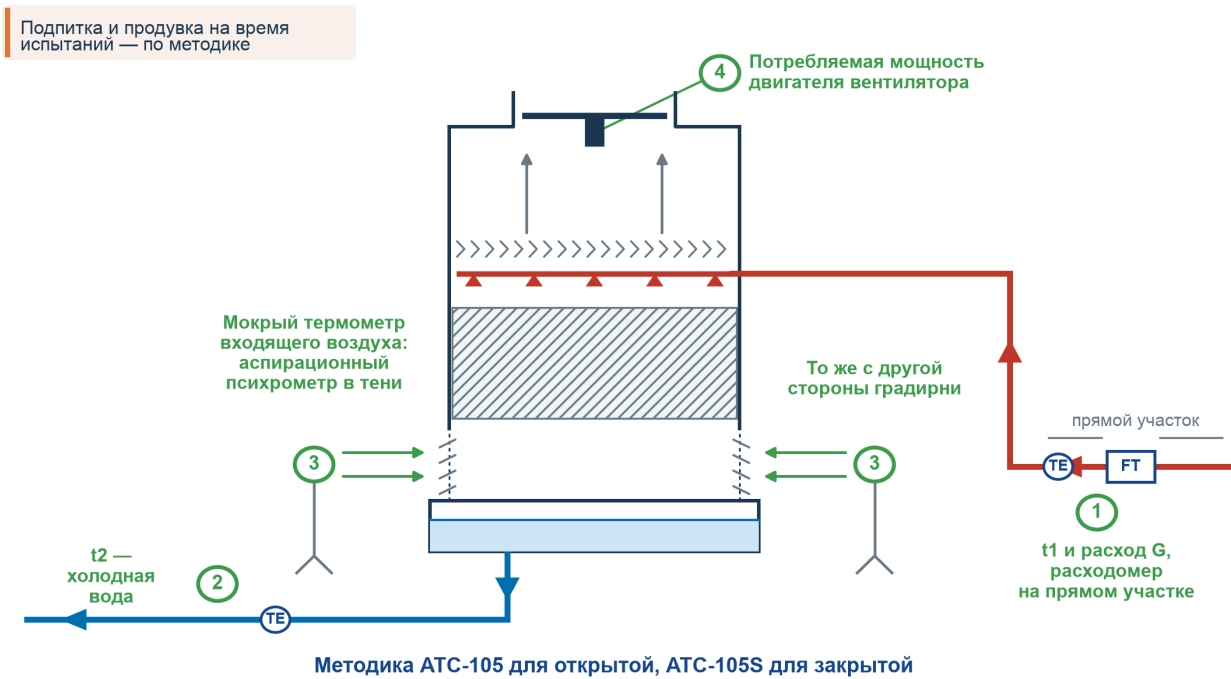


Таблица 52 Что мерить и где ставить точки замеров

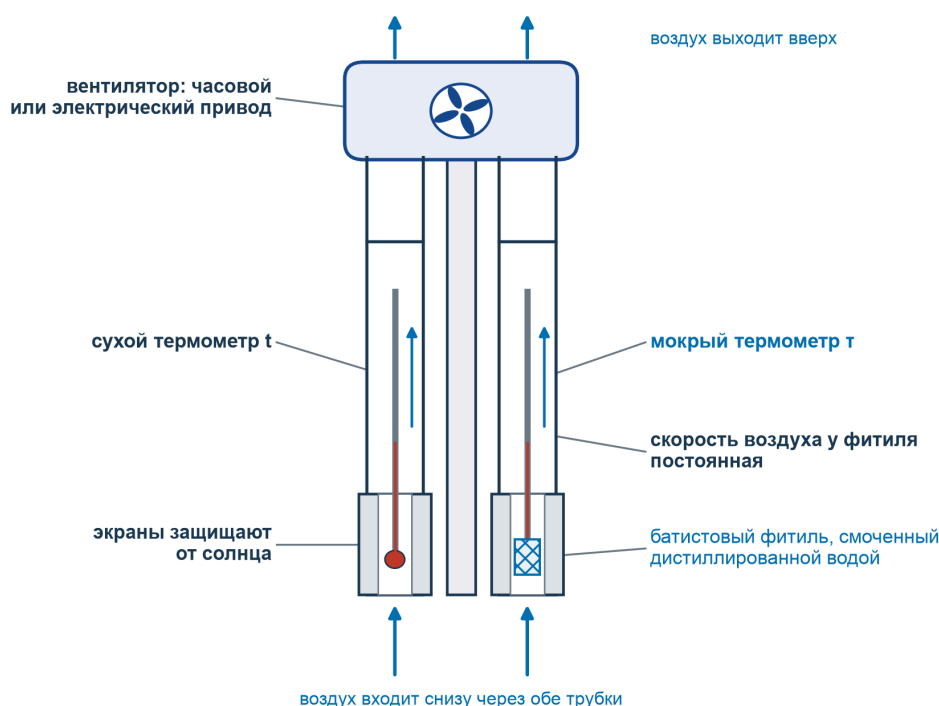
Точка	Что мерят	Где	Требуемая точность
1	Температура горячей воды t1 и расход G	Подающий трубопровод, расходомер на прямом участке	Температура — запись до 0,05 °C; расход — ±2,0 % и лучше (методы СТИ STD-146)

Точка	Что мерят	Где	Требуемая точность
2	Температура холодной воды t_2	Выход из поддона или отводящий трубопровод	Запись до 0,05 °C
3	Мокрый термометр входящего воздуха	У воздухозаборных окон с двух сторон, в тени, в пределах 1,5 м от воздухозабора	$\pm 0,05$ °C
4	Потребляемая мощность двигателя вентилятора	Питание двигателя	Электросчётчик с ежегодной калибровкой
—	Ветер, барометрическое давление	Площадка	Ветер — непрерывно

Датчики температуры калибруют не раньше чем за 3 месяца до испытания, расходомер — раз в 3 года, если не повреждён. Подпитку и продувку на время испытания ведут по методике.

Мокрый термометр мерят аспирационным психрометром. В нём вентилятор протягивает воздух мимо сухого и смоченного датчиков с постоянной скоростью, экраны защищают от солнца. Бытовой гигрометр и данные метеосайта для протокола не годятся. Замер «на площадке в тени» вдали от воздухозабора может отличаться на 1–2 К — и это сразу переворачивает вывод.

Рисунок 44 Аспирационный психрометр: принцип работы



12.4. Условия дня испытания

Нарушен хотя бы один предел — результат не признаётся приёмочным.

Таблица 53 Условия дня испытания

Параметр	Допустимо по АТС-105
Средняя скорость ветра (механическая тяга)	не больше 4,5 м/с, минутный порыв — не больше 7,0 м/с
Мокрый термометр	$\pm 8,5$ °C от расчётного

Параметр	Допустимо по АТС-105
Сухой термометр	±14,0 °C от расчётного
Перепад (range)	±20 % от расчётного
Расход циркуляционной воды	±10 % от расчётного
Барометрическое давление	±3,5 кПа
Мощность на валу вентилятора (с поправкой на плотность воздуха)	±15 %
Солесодержание циркуляционной воды	не больше 5000 ppm или 1,1 расчётного, что больше
Масла, смолы, жиры	не больше 10 ppm

Стабильность внутри прогона: расход меняется не больше чем на 2 %, тепловая нагрузка и range — не больше 5 %, мокрый термометр — не больше 1 °C в час. Прогон при механической тяге — не меньше часа после выхода на установившийся режим; температуры записывают 12 раз в час, расход — 3 раза, мощность и давление — раз в час.

12.5. Как читается результат

Производительность градирни (tower capability) по АТС-105 — отношение скорректированного расхода воды, который градирня способна охладить до расчётной температуры при расчётных условиях, к расчётному расходу, в процентах. 100 % — обещание выполнено. 94 % — не выполнено, даже если в день замера вода на выходе была холоднее расчётной: мгновенная температура при другой погоде ничего не доказывает.

Допуск на испытание существует только если он записан в договоре. Нет пункта — планка 100 %, и 97 % формально считается невыполнением. Пример допуска 3 % приведён в самом коде: при нём 97 % признаётся приемлемым. Допуск задают процентом производительности или отклонением по температуре холодной воды.

Экспресс-проверка на месте — пример по шагам. Градирня подобрана на 1000 м³/ч, 35 → 28 °C при мокром термометре 22 °C (range 7 K, approach 6 K). В день замера мокрый термометр 20 °C, расход и range расчётные.

1. Тепловая нагрузка по воде: $Q = 1,163 \times 1000 \times 7 = 8141$ кВт. Если расчёт по воздуху (массовый расход сухого воздуха × разность энтальпий на выходе и входе) расходится с ним больше чем на 10 %, один из замеров неверен — сначала ищут прибор, потом спорят.
2. Чего ждать от исправной градирни: при неизменных расходе и range каждый градус мокрого термометра ниже расчётного снижает холодную воду примерно на 0,7 K. При 20 °C та же градирня должна дать около **26,7 °C** (approach 6,7 K).
3. Замерили 27,5 °C — градирня на 0,8 K теплее собственной характеристики. Это повод для испытания по коду, а не готовый вывод: величину недобора в процентах даёт только расчёт по АТС-105.

Метрология решает больше, чем кажется. Штатные гильзы против переносных датчиков дают разницу до 1 K — при range 5 K это 20 % мощности. Накладной ультразвуковой расходомер на неподходящей трубе даёт до 20–25 % ошибки. Влажность воздуха на выходе меньше 90 % для работающей испарительной градирни физически сомнительна: воздух там практически насыщен. Поэтому реестр приборов и схему точек замеров согласуют и подписывают обе стороны до испытания.

ВНИМАНИЕ

Гликоль меняет результат. У 30 %-го этиленгликоля теплоёмкость примерно на 7 % ниже, чем у воды. Испытание закрытой градирни на воде вместо договорного гликоля — не испытание по АТС-105S, а перемерить «на проектном теплоносителе», не посчитав заранее, — значит получить результат хуже, чем на воде.

12.6. Что записать в договор и ТЗ

- **Расчётную точку целиком:** расход, t_1 , t_2 , мокрый термометр, атмосферное давление, свойства жидкости; источник климатических данных и обеспеченность.
- **Подтверждение характеристики:** сертификация CTI STD-201RS или Eurovent либо расчёт производителя с обязательством испытаний.
- **Код испытаний с редакцией:** АТС-105 для открытой, АТС-105S для закрытой, АТС-106 для испарительного конденсатора; АТС-140, если заявлен унос.
- **Испытатель:** независимая лаборатория, лицензированная CTI; присутствие обеих сторон.
- **Допуск на испытание** в процентах производительности (пример кода — 3 %) или в градусах по холодной воде.
- **Срок и состояние:** в течение 12 месяцев эксплуатации, после не меньше 1000 ч приработки плёночной насадки под нагрузкой; в какой период года, чтобы мокрый термометр был в допустимом методикой диапазоне около расчётного.
- **Для закрытых аппаратов:** договорная концентрация гликоля и допуск по ней, метод измерения (рефрактометр с температурной компенсацией), запас на эксплуатационное загрязнение и способ пересчёта.
- **Кто и за чей счёт** проводит испытания; реестр приборов и схема точек замеров согласуются до начала.
- **Что происходит, если результат не дотягивает:** доработка, дополнительная секция, финансовые условия.
- **В проекте контура** — штуцеры и гильзы под испытательные датчики на подающей и отводящей линиях и прямой участок под расходомер (точки 1 и 2, раздел 12.3).

ПРИМЕЧАНИЕ

Почему это забота проектировщика. Точки замеров ставят на трубопроводах, которые рисуете вы. Нет прямого участка под расходомер и гильз у градирни — испытание по коду на объекте провести нельзя, и спор о мощности становится спором мнений.

13. Самопроверка

13.1. Типичные ошибки проекта

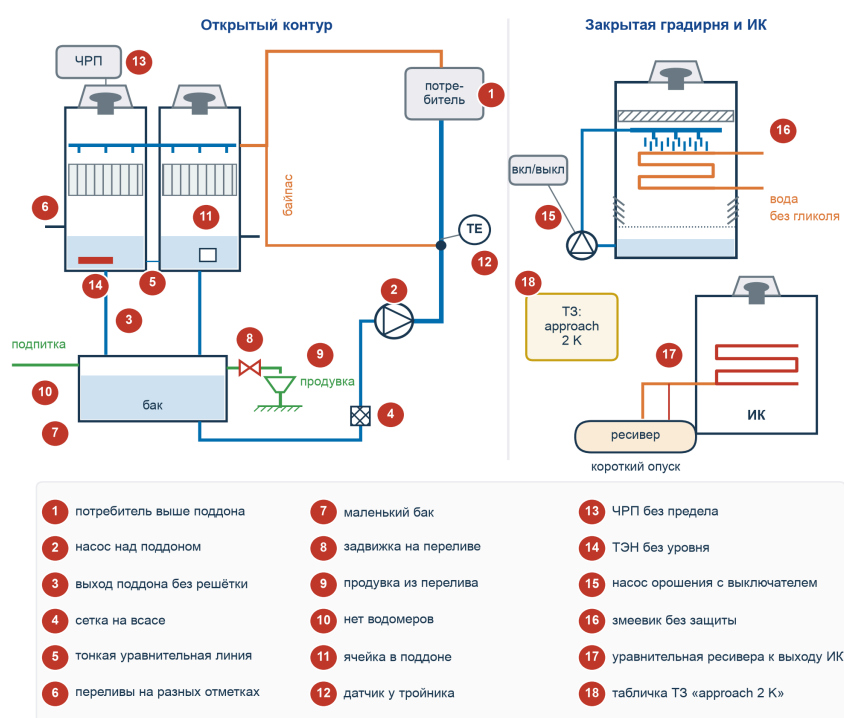
Восемнадцать ошибок, которые повторяются в проектах контура градирни. Номера в таблице совпадают с номерами на рисунке.

Таблица 54 Типичные ошибки проекта

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
1	Градирня — самая низкая точка системы, потребители выше	При каждой остановке контур сливается в поддон, перелив	Трубы и теплообменники ниже рабочего уровня поддона; иначе закрытая градирня или разделительный теплообменник
2	Насос высоко над поддоном, работает на подъём	Кавитация, нехватка кавитационного запаса (NPSHa)	Насос ниже поддона, вода приходит самотёком; NPSHa с запасом по ANSI/HI 9.6.1, проверка при горячей воде
3	Нет противоворонкового устройства	Воронки, воздух в насосе	Погружение по ANSI/HI 9.8: $S = D \cdot (1 + 2,3 \cdot Fr)$, либо противоворонковая решётка
4	Сетчатый фильтр на всасе насоса	Самая большая потеря на всасе, кавитация	Решётка в поддоне, сетка — на нагнетании
5	Уравнительная линия «по месту»	Одна секция переливает, у другой оголяется всас	Линия на 15 % расхода наибольшей градирни, скорость ниже 0,9 м/с, разница уровней не больше 25 мм
6	Переливы секций на разных отметках	Вода уходит через нижний перелив	Переливы строго на одной отметке
7	Бак не рассчитан на сток при остановке	Перелив при каждой остановке, потеря воды и реагентов	Объём между рабочим уровнем и переливом больше суммы стока при остановке (drain-down volume)
8	Задвижка на переливе бака	Затопление вентиляторов или помещения	Перелив всегда открыт, выпуск через разрыв струи
9	Продувка через перелив или ручной кран	Циклы плавают, перерасход воды или накипь	Клапан по электропроводности с напора, водомеры (раздел 9.6)
10	Нет водомеров на подпитке и продувке	Циклы не посчитать, дозирование вслепую	Водомеры с импульсным выходом в автоматику
11	Ячейка электропроводности в поддоне или тупике	Продувка опаздывает	Проточная линия с напора
12	Датчик холодной воды сразу за тройником байпаса	Байпас «качается»	Датчик после смешения, не ближе 10 диаметров
13	ЧРП вентилятора без нижнего предела	Перегрев двигателя, неравномерный воздух	Не ниже 30 % скорости, не больше 6 пусков в час
14	ТЭН поддона без блокировки по уровню, ТЭН как «подогрев контура»	Перегоревший ТЭН; зимой чиллер вне режима	ТЭН только против замерзания поддона, блокировка по уровню в схеме питания; контур греют байпасом
15	Регулирование насосом орошения или сухой режим с водой в поддоне	Накипь на змеевике, замёрзший поддон	Насос орошения работает постоянно, сухой режим — только со сливом поддона
16	Вода без гликоля в змеевике без защиты	Разрыв змеевика	Минимальный расход, выход не ниже 7 °C (10 °C для оцинкованного змеевика), автодренаж

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
17	Уравнительная линия ресивера подключена к выходам ИК, короткие опуски	Жидкость в змеевиках, падение мощности	Опуск не меньше 1,5 м для аммиака и 3,7 м для фреонов, уравнительная — в нагнетательный коллектор
18	В Т3 approach меньше 2,8 К без оговорок	Точка вне сертификации СТИ, спор при приёмке	Approach выбирать экономически; за точку вне зоны СТИ отвечает только производитель (раздел 12.1)

Рисунок 45 Карта типовых ошибок проекта контура: номера соответствуют таблице раздела 13.1



Ещё шесть ошибок, которые не видны на схеме, но возвращают проект с экспертизы:

Таблица 55 Ошибки, которые не видны на схеме

Ошибка	Чем грозит	Как правильно
«Автоматика комплектно с оборудованием» без функций	Замечание экспертизы, наладка по памяти	Перечень сигналов, алгоритмы с уставками и блокировки в составе П
Не определено, какой щит главный	На пусконаладке чиллер и градирия «не видят» друг друга	Схема обмена сигналами на П, карта регистров на Р
Уставка продувки «1000 мкСм/см» без анализа подпитки	Лишний сброс или накипь	$\sigma_{уст} = N \times \sigma_{подп}$, не выше предела материала
В КР сухая масса градири	Замечание экспертизы или усиление кровли на стройке	Масса в рабочем состоянии от завода
Ссылка на СП 31.13330.2021 как на норму расчёта градири	Вопрос экспертизы, где этот пункт	Климат — СП 131.13330.2025, расчёт — производителя по методике СТИ
Шум посчитан по дневной норме для круглосуточной градири	Претензия на ночном замере	Проверка по ночным 45 дБА на границе территории

13.2. Частые вопросы проектировщиков

«Экспертиза спрашивает, по какой норме подобрана градирня. Что отвечать, если СП 31 про градирни не пишет?» Прямо: действующей нормы РФ на тепловой расчёт градирни нет. Климат — СП 131.13330.2025, введён 09.09.2025. Тепловой расчёт — производителя, по методике, соответствующей CTI STD-201RS, с указанием расчётной точки. Историческая основа — раздел 11 СНиП 2.04.02-84 и Пособие к нему.

«Заказчик хочет 25 °С при мокром термометре 22 °С. Это реально?» Approach 3 К физически достижим и выше границы сертификации CTI (2,8 К). Но требуемая характеристика градирни по сравнению с approach 6 К вырастает примерно в 2,2 раза. Покажите заказчику эту цифру и спросите, что он теряет при 27–28 °С.

«Нагрузку дали по холодопроизводительности чиллеров. Этого хватит?» Нет. На градирню идёт холод плюс мощность компрессоров. Чиллер с холодопроизводительностью 1000 кВт и потребляемой мощностью 200 кВт даёт на градирню 1200 кВт. Возьмите у производителя чиллера теплоотдачу конденсатора в расчётной точке.

«Почему уставка холодной воды плавающая? Технологи хотят постоянную». Постоянная проще, но в прохладные часы градирня могла бы дать воду холоднее и разгрузить чиллер. Плавающая уставка — мокрый термометр плюс около 3,9 К, с нижним пределом по паспорту потребителя. Если технология требует постоянной температуры, уставку фиксируют, а экономию берут только на ЧРП (раздел 9.4).

«Зачем два водомера, если контроллер и так продувает по проводимости?» Проводимость показывает соли сейчас, водомеры — сколько воды ушло. Без них циклы не проверить, дозирование пропорционально подпитке не сделать и расхождение циклов по проводимости и по хлоридам не увидеть — а это первый признак отложений.

«Почему нельзя просто поставить ТЭНы помощнее и не делать байпас?» ТЭН рассчитан на небольшой объём поддона и держит около +4 °С при –18 °С снаружи. Контур 1000 м³/ч при переохлаждении — это мегаватты, их ТЭНом не компенсировать. Байпас работает на тепле нагрузки, а не на электричестве.

«Почему не поставить частотник на насос орошения закрытой градирни? Сэкономили бы». Насосом орошения мощность не регулируют: водораспределение рассчитано на номинальный расход, при меньшем появляются сухие полосы и накипь на змеевике. Экономия дают частотники вентиляторов, их мощность намного больше.

«Можно держать змеевик на воде без гликоля всю зиму?» Можно, если постоянно идёт минимальный расход, вода на выходе не ниже 7 °С (10 °С для оцинкованного змеевика) и есть автоматический дренаж и воздушник. Частый слив змеевика — аварийная мера: он вызывает коррозию изнутри.

«Градирня в 60 метрах от жилого дома. Зачем глушители?» При 68 дБА на 10 м на 60 м будет около 52,4 дБА. Днём норма 55 дБА выполняется, ночью норма 45 дБА — нет. Либо ЧРП ночью на 70 % оборотов (минус 7–8 дБ), либо шумоглушители.

«Автоматизация у вас в каком разделе? Экспертиза спросит». Отдельного раздела автоматизации в стадии П нет: описание систем автоматизации даётся в том подразделе раздела 5 или в разделе 6, к которому относится контур. В стадии Р — отдельные марки АТХ, АОВ, АВК по ГОСТ 21.408-2013.

«Нельзя просто написать в спецификации модель градирни?» Для частного заказчика можно. При закупке по 44-ФЗ товарный знак сопровождаются словами «или эквивалент», а эквивалентность задают функционально: режим, мокрый термометр, approach, шум, унос, материалы, подтверждение тепловых характеристик.

«Заказчик сам замерил температуру и говорит, что градирня недодаёт. Это испытание?» Нет. По АТС-105 испытание проводит независимая лаборатория, лицензированная СТІ, в присутствии обеих сторон, с калиброванными приборами и в допустимых условиях дня. Замер службы эксплуатации — повод для испытания, но не его результат (раздел 12).

13.3. Чек-лист проверки проекта

Исходные данные и договор

- ☐ Нагрузка посчитана по формуле $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$ и сверена с технологом или теплоотдачей конденсатора чиллера; расхождение не больше 10 %, запас по нагрузке учтён один раз и записан в записке.
- ☐ Мокрый термометр взят для города объекта по СП 131.13330.2025, указаны метеостанция и обеспеченность, согласованная с заказчиком письменно.
- ☐ Описаны пять режимов: летний расчётный, частичная нагрузка, зимний, минимальная температура потребителя, пуск и останов.
- ☐ Расчётная точка в зоне сертификации СТІ: approach не меньше 2,8 К, range не меньше 2,2 К, вода не горячее 51,7 °С — или ответственность производителя за точку вне зоны записана в договоре.
- ☐ В ТЗ и договоре — полная расчётная точка, код испытаний с редакцией (АТС-105, АТС-105S или АТС-106), допуск на испытание и последствия недобора.

Схема и гидравлика

- ☐ Потребители и трубы ниже рабочего уровня поддона, либо выбрана закрытая градирня или разделительный теплообменник.
- ☐ Насос ниже поддона, NPSHa проверен с запасом при горячей воде, погружение выхода посчитано или стоит противоворонковое устройство.
- ☐ Сетка на нагнетании, на всасе — решётка в поддоне.
- ☐ Уравнительная линия рассчитана на 15 % расхода наибольшей градирни, переливы секций на одной отметке.
- ☐ Бак вмещает сток при остановке, перелив всегда открыт и выпущен через разрыв струи.

Вода и продувка

- ☐ Водный баланс посчитан по максимуму для оборудования и посезонно для годового расхода, циклы — по анализу подпитки и самому чувствительному материалу контура.
- ☐ Продувка — клапаном по электропроводности с напора, уставка = $N \times \sigma$ подпитки и не выше предела материала.
- ☐ На подпитке и продувке стоят водомеры с импульсным выходом.
- ☐ Для сброса продувки есть объём, состав, точка сброса и технические условия владельца сети.
- ☐ Против легионеллы: нет тупиков, есть точки отбора проб, автоматическая продувка и биоцид, ссылка на СанПиН 3.3686-21 гл. XLII.

Размещение, шум, зима

- ☐ Шум проверен по ночной норме 45 дБА на границе нормируемой территории, шумоглушители или ночной режим ЧРП заложены, если запаса меньше 3 дБ.
- ☐ Выхлоп градирни не ближе 7,5 м от воздухозаборов вентиляции.
- ☐ Выбрана зимняя схема, посчитаны мощности ТЭНов и греющего кабеля по зимним параметрам СП 131.13330.2025, показаны дренажи.
- ☐ Для змеевика на воде без гликоля — минимальный расход, выход не ниже 7 °С (10 °С для оцинкованного), автодренаж и воздушник.

Автоматика и КИП

- ☐ Составлен перечень КИП с точкой установки и типом сигнала для каждой позиции (раздел 9.2 или 9.3).
- ☐ Датчик холодной воды не ближе 10 диаметров после смешения байпаса, ячейка проводимости — в проточной линии, уровнемер — в успокоительной трубе.
- ☐ Алгоритм вентиляторов: все вместе, не ниже 30 % скорости, не больше 6 пусков в час, сначала насос; байпас — после остановки вентиляторов.
- ☐ Перечень блокировок передан в автоматизацию, блокировка ТЭНа по уровню продублирована в схеме питания.
- ☐ Определён главный щит, описан обмен сигналами с чиллером, водоподготовкой и диспетчерской; для ИК сигнал «насос орошения не работает» идёт в щит холодильной установки.

Документы и экспертиза

- ☐ Решения разложены по разделам 4, 5, 6, 8, 10 стадии П и маркам стадии Р; водный баланс, зимняя схема, массы и шум решены уже на П.
- ☐ Есть одна таблица исходных данных контура, и все разделы ссылаются на неё.
- ☐ В КР — масса градирни в рабочем состоянии от завода.
- ☐ Спецификация по ГОСТ 21.110-2013 с функциональными параметрами («или эквивалент» для 44-ФЗ), опросные листы на КИП по ГОСТ 21.408-2013.
- ☐ В записке нет ссылок на СП 31.13330.2021 как на норму расчёта градирни и на несуществующий «ГОСТ на обратную воду».

Правило прохода: все пункты блоков «Исходные данные и договор» и «Автоматика и КИП» отмечены, в остальных блоках — не больше двух пропусков, и каждый объяснён в пояснительной записке. Хотя один пункт про переливы, защиту змеевика или ночной шум не отмечен — раздел на экспертизу не отправляют.

14. Наши объекты

Градирни NCT работают на металлургических и машиностроительных заводах, в нефтепереработке и химии, на фармацевтических и пищевых производствах, в центрах обработки данных и торговых центрах — от Калининграда до Камчатки, а также в Беларуси, Казахстане, Узбекистане, Армении, Азербайджане и Бангладеш. В разделе «Градирни» референс-листа NCT 2026 года перечислено больше 360 объектов, если не считать повторов одного предприятия в разных отраслях. Актуальный список и фотографии объектов — на сайте nc-t.ru.

Ниже — выборка по отраслям из референс-листа и референс-листа закрытых градирен. Колонка «Что поставлено» заполнена там, где задача описана в референс-листе.

Таблица 56 Наши объекты

Отрасль	Предприятие	Город, регион	Что поставлено
Металлургия	Металлургический комбинат «Северсталь»	Череповец	Градирня для охлаждения индукционной печи
Металлургия	Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК)	Липецк	Градирни NCT
Металлургия	Ступинская металлургическая компания	Московская обл.	Градирни для охлаждения сталеплавильной печи
Металлургия	Завод алюминиевых профилей «Татпроф»	Набережные Челны	Градирни для процесса закалки алюминиевых профилей
Металлургия	Тверской литейный завод	Тверь	Градирни для индукционных печей литейного производства
Машиностроение	Энергомашиностроительная компания «Силовые машины»	Санкт-Петербург	Градирни для стенда огневых испытаний
Машиностроение	Коломенский завод	Московская обл.	Градирня для двух испытательных стендов
Машиностроение	ОДК «Кузнецов»	Самара	Градирни NCT
Машиностроение	Завод сельхозтехники «Ростсельмаш»	Ростов-на-Дону	Градирни NCT
Машиностроение	Севмаш	Архангельская обл.	Градирни NCT
Ракетно-космическая отрасль	АО КБХА (Роскосмос)	Воронеж	Закрытые градирни VRC
Атомная энергетика	Атомная электростанция	Ленинградская обл.	Градирня для испытательных стендов конструкторского бюро
Атомная энергетика	АЭС «Руппур»	Бангладеш	Градирни NCT
Наука	НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ	Гатчина, Ленинградская обл.	Закрытые градирни VRC
Нефтепереработка	«Газпромнефть — Омский НПЗ»	Омск	Градирня для технологических процессов завода катализаторов
Нефтепереработка	Московский НПЗ «Газпромнефть»	Москва	Градирни NCT
Нефтехимия	Новокуйбышевский завод присадок и масел «Роснефть»	Самарская обл.	Градирни NCT

Отрасль	Предприятие	Город, регион	Что поставлено
Химия	«Тольяттиазот»	Тольятти	Градирни для технологических процессов
Стекольная промышленность	Омский стекольный завод	Омск	Две закрытые градирни VRC для охлаждения печей
Строительные материалы	Завод «ТехноНИКОЛЬ»	Московская обл.	Градирни NCT
Горнодобыча	«Воркутауголь» (Северсталь)	Воркута, Республика Коми	Градирни для обеспечения вакуум-насосов холодной водой
Горнодобыча	Рудник «Тэутэджак»	Магаданская обл.	Градирни для охлаждения компрессоров
Фармацевтика	Завод инсулина «Герофарм»	Санкт-Петербург	Градирни для технологического процесса производства инсулина
Фармацевтика	НПО «Микроген»	Нижний Новгород	Градирни NCT
Пищевая промышленность	«Бондюэль-Кубань»	Краснодарский край	Градирня для охлаждения автоклава
Пищевая промышленность	Пивоваренная компания «Хайнекен»	Санкт-Петербург	Градирни NCT
Пищевая промышленность	Московский пиво-безалкогольный комбинат «Очаково»	Москва	Градирни NCT
Пищевая промышленность	Завод кормов для домашних животных Mars Petcare Russia	Ростов-на-Дону	Градирни NCT
ЦОД	ЦОД «Мобил Телеком»	Ленинградская обл.	Градирни NCT
Коммерческая недвижимость	ТРК «Триумф Плаза»	Обнинск, Калужская обл.	Закрытые градирни VRC для охлаждения чиллера системы кондиционирования

Какие задачи решают градирни на этих объектах. По описаниям в референс-листе повторяются шесть типовых нагрузок:

- **индукционные и плавильные печи** — металлургия, литьё, кабельные заводы;
- **испытательные стенды** — машиностроение, энергетика, атомная отрасль;
- **компрессоры** — воздушные и азотных станций;
- **конденсаторы чиллеров** систем кондиционирования и технологического холода;
- **абсорбционные машины Thermax**, в том числе в схемах тригенерации, — агрокомплексы, пищевые производства, торговые центры;
- **автоклавы, реакторы, закалочные ванны** — консервные, химические и термические производства.

ПРИМЕЧАНИЕ

Закрытые градирни в референс-листе. Серия VRC работает в торговом центре (охлаждение чиллера кондиционирования), на производстве упаковки (охлаждение компрессоров), на стекольном заводе (охлаждение печей), в научном центре, на атомной станции, на машиностроительных и сталелитейном заводах; SVAC — на заводе по обработке цветных металлов. Это типичный круг задач закрытого контура: чистая вода в теплообменниках технологии и работа круглый год.

Если нужен референс по вашей отрасли, запросите его вместе с опросным листом.

Следующий шаг

Пришлите опросный лист и исходные данные из раздела 3. Мы подберём градирню на ваш режим и выдадим техническое предложение, габаритный чертёж, основные технические решения и схемы обвязки, а готовый раздел проверим до экспертизы. Всё это бесплатно.

«Энергия Холода» / NCT · Санкт-Петербург · nc-t.ru · colden.ru

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

Словарь терминов

Термин	Что значит
Открытая градирня	Испарительный охладитель, в котором охлаждаемая вода стекает по оросителю и напрямую контактирует с воздухом
Закрытая градирня	Охлаждаемая жидкость идёт внутри змеевика, снаружи змеевик орошается своей водой из поддона; два контура не смешиваются
Температура мокрого термометра (wet-bulb)	Нижний предел, до которого испарительный аппарат может охладить воду при данном состоянии воздуха
Перепад, зона охлаждения (range)	Разница температур воды на входе в градирню и на выходе
Недоохлаждение до мокрого термометра (approach)	Насколько вода на выходе из градирни теплее мокрого термометра входящего воздуха
Число Меркеля (KaV/L)	Безразмерная требуемая характеристика градирни, по которой подбирают модель
Испарение	Вода, ушедшая в воздух паром: этим градирня и охлаждает; около 1 % расхода на каждые 7 К перепада
Капельный унос (drift)	Капли оборотной воды с солями и бактериями, вынесенные воздухом через каплеуловитель
Продувка (blowdown)	Сброс части оборотной воды, чтобы соли в контуре не накапливались выше допустимого
Циклы концентрирования (N)	Во сколько раз солесодержание оборотной воды выше, чем подпиточной
Сток при остановке (drain-down)	Вода из труб, распределения и оросителя, которая стекает в поддон или бак при остановке насоса
Выравнивающая линия (equalizer)	Труба между поддонами параллельных градирен, держит в них одинаковый уровень
Противоворонковое устройство	Крест, плита или решётка на выходе из поддона: не даёт воронке затянуть воздух в насос
NPSHa / NPSHR	Располагаемый (что даёт система) и требуемый (что нужно насосу) кавитационный запас
Боковая фильтрация (side-stream)	Постоянная очистка 3–7 % расхода циркуляции в обход основного потока
Сухой режим	Работа закрытой градирни без орошения: тепло снимает только воздух
Температура переключения	Температура наружного воздуха, ниже которой закрытая градирня справляется с нагрузкой без орошения
Рециркуляция факела	Повторное всасывание градирней собственного тёплого влажного выхлопа
Частоты пропуска (skip frequencies)	Полосы оборотов, которые частотный преобразователь проходит не задерживаясь, чтобы не войти в резонанс
Производительность градирни (capacity)	Отношение расхода, который градирня охлаждает до расчётной температуры, к расчётному расходу, %
Испарительный конденсатор (ИК)	Аппарат, где хладагент конденсируется в змеевике с внешним орошением водой
ОТР	Основные технические решения — пакет схем и данных для проектировщика

Список литературы

1. NCT. «Оборудование NCT 2026» — общий каталог.
2. NCT. Каталоги «Градирни NCT тип VR 26», «Градирни NCT тип VA 26», «Градирни NCT тип FX 26», «Градирни NCT тип e-VRC», «Градирни VRC», «Закрытые градирни SVAC», «Мини градирни SVA», «Градирни NCT тип VAB (строительные)».
3. NCT. Листовки «HR», «NCT-Protect», «Окрашенная градирня», «Блок-модуль».
4. NCT. Опросные листы: «Опросный лист на градирни NCT», «ОЛ градирни NCT 2024», «Опросный лист закрытые градирни».
5. NCT. «Схемы обвязки NCT», ред. 5; габаритные чертежи градирен серий VR, VA, HR, VRC, e-VRC.
6. СП 131.13330.2025 «Строительная климатология».
7. СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»; СНиП 2.04.02-84, раздел 11, и Пособие по проектированию градирен к нему.
8. СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (с изменением № 4).
9. СанПиН 1.2.3685-21; СанПиН 2.1.3684-21; СанПиН 3.3686-21, глава XLII; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.
10. ГОСТ Р 21.101-2020; ГОСТ 21.208-2013; ГОСТ 21.408-2013; постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации».
11. TP TC 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».
12. Cooling Technology Institute. STD-201RS «Performance Rating of Evaporative Heat Rejection Equipment»; ATC-105 «Acceptance Test Code for Water Cooling Towers»; ATC-105S; ATC-140 (измерение капельного уноса).
13. Cooling Technology Institute. WTB-148; WTG-122; ESG-151.
14. ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment 2024, гл. 40 «Cooling Towers»; ASHRAE Handbook — Fundamentals 2025, гл. 14 «Climatic Design Information».
15. ANSI/ASHRAE Standard 188-2021 «Legionellosis: Risk Management for Building Water Systems»; ASHRAE Guideline 12-2023.
16. ANSI/HI 9.8-2024 «Rotodynamic Pumps for Pump Intake Design»; ANSI/HI 9.6.1-2024 «Rotodynamic Pumps Guideline for NPSH Margin».
17. Stanford. HVAC Water Chillers and Cooling Towers.



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

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

ЭХ-АРМ002-RU (октябрь 2026). Материал для проектировщиков, распространяется свободно. Рабочие параметры для проекта — по техническому предложению на конкретную модель.