

ЧТО ПРОВЕРИТЬ ДО ВЫДАЧИ ДОКУМЕНТАЦИИ

Чек-лист проектировщика: градирня

56 проверок, которые снимают большинство проблем эксплуатации

Расчётная точка · конструкция и COP схемы · водный баланс

Насосная группа и NPSH · санитария контура

Зимние режимы · размещение на площадке

Ссылки на СП 60.13330.2020 и Пособие ВНИИ ВОДГЕО

Максим Краснов, генеральный директор «Энергии холода» / NCT

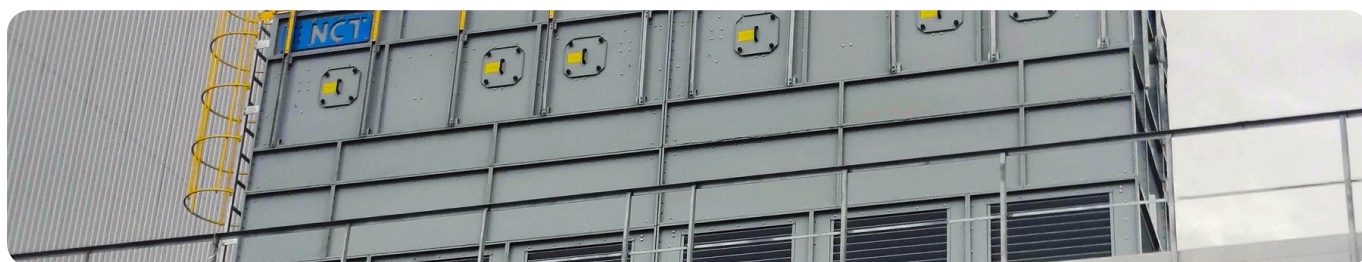
Вопросы по конкретному объекту разбираю лично в канале:

t.me/krasnov_energy



Что проверяется в проекте градирни перед тем, как отдать документацию заказчику. Составлен по практике «Энергии холода» / NCT: более 350 установленных градирен, членство в СТІ — институте, который разрабатывает мировые стандарты на градирни.

Пользоваться просто: пройти сверху вниз и отметить. Пункт, на который нет ответа, — это не мелочь, а место, где проект вернётся к вам через два года вместе с претензией.



1. Расчётная точка: 11 проверок

- ☐ 1 **В задании письменно зафиксировано, по какому источнику принята расчётная точка.** Это не формальность: раздел про охладители оборотной воды из актуализированного СП 31.13330.2021 исключён, действующего свода правил с методикой расчёта градирни сегодня нет. Отраслевой базой осталось Пособие по проектированию градирен ВНИИ ВОДГЕО (к СНиП 2.04.02-84) — формально документ к отменённому СНиП.
- ☐ 2 **Мокрый термометр взят для конкретного населённого пункта, а не «по средней полосе».** По профильной методике (Пособие, п. 2.36 и табл. 7) он берётся из таблицы готовым значением. Для справки: Москва при обеспеченности 1 % — 20,8 °С, при 5 % — 19,0 °С, при 10 % — 17,9 °С; Санкт-Петербург соответственно 20,1 / 18,3 / 17,4 °С.
- ☐ 3 **Обеспеченность выбрана по категории водопотребителя (Пособие, табл. 6), а не «по умолчанию».** I категория — 1 %, II — 5 %, III — 10 % за июнь–июль–август, то есть 1, 5 или 10 дней в году условия будут хуже расчётных. Категорию определяет технолог заказчика через ответ на вопрос, что произойдёт при превышении, и ответ зафиксирован письменно.

- ☐ 4 **Учтено, что климатические ряды в табл. 7 Пособия доведены до конца 1980-х годов.** Альтернативный путь — цепочка из общих сводов правил: СП 60.13330.2020, п. 5.13 отсылает к СП 131.13330 и для систем кондиционирования в тёплый период задаёт параметр Б, а удельную энтальпию и влагосодержание — по приложению П. С 9 сентября 2025 года действует СП 131.13330.2025 со свежими наблюдениями. Мокрого термометра в этих таблицах нет: он выводится из пары «температура + энтальпия» по h-d диаграмме. Обеспеченность здесь годовая, а не за три летних месяца, — цифры двух путей напрямую несопоставимы, и выбранный путь фиксируется в задании.
- ☐ 5 **Применены поправки на место размещения по СП 60.13330.2020, п. 8.15.** Это требование нормы: для вентиляторных градирен, расположенных в тени, расчётная температура принимается на 1,5 °C выше температуры мокрого термометра по параметрам «Б», для облучаемых солнцем — на 3 °C выше. При размещении на плоской кровле на расстоянии до стен не более 3 м со всех сторон эти значения увеличиваются ещё на 3 °C. Для Москвы это разбег от 20,8 до 26,8 °C — шесть градусов, то есть другой аппарат по габариту и цене.
- ☐ 6 **В задании изготовителю указан мокрый термометр С УЖЕ ПРИМЕНЁННОЙ поправкой, а не голое табличное значение.** Иначе поправку либо применяют дважды, либо не применяют вовсе.
- ☐ 7 **Отдельно учтено, что рециркуляция собственного влажного выброса поднимает мокрый термометр НА ВХОДЕ ещё на 1...3 К сверх нормативных поправок (см. раздел про размещение).** Норма задаёт минимум, а не потолок.
- ☐ 8 **Range посчитан от процесса:** $\text{Range} = Q / (c \times G)$, где $c = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Он не выбирается «как обычно», он следует из тепловой нагрузки и расхода.
- ☐ 9 **Температура воды на выходе не назначена вплотную к мокрому термометру.** Пособие ВНИИ ВОДГЕО, п. 2.33: разность между температурой охлаждённой воды и мокрым термометром рекомендуется принимать не менее 4–5 °C, и по практическим соображениям во всех случаях не ниже 2–2,5 °C. Перепад воды там же рекомендован 4–8 °C. Чем ближе к пределу, тем крупнее и дороже аппарат, а на каком-то шаге его просто не существует.
- ☐ 10 **Расчётная точка целиком укладывается в сертифицируемый диапазон СТИ STD-201:** мокрый термометр на входе 12,8–32,2 °C, максимальная температура воды 51,7 °C, range не менее 2,2 К.

- ☐ **Все предложения от разных поставщиков сравниваются при ОДНОЙ расчётной точке.** Аппараты, посчитанные при разном мокром термометре, несопоставимы по мощности, и разница легко достигает десятков процентов.



2. Выбор конструкции и COP схемы: 11 проверок

- ☐ **Задан вопрос технологу: какая температура среды реально нужна процессу — а не какая записана в предыдущем проекте.**
- ☐ **Проверено, нужен ли чиллер вообще.** Если процессу достаточно 30...40 °С (рубашки и масло компрессоров, гидравлика, редукторы, индукционные печи, пресс-формы, контуры ЦОД с высокой обратной), закрытая градирня закрывает задачу без компрессорного холода.
- ☐ **Если чиллер из схемы уходит, посчитана разница по электричеству:** чиллер с водяным конденсатором — порядка 0,20...0,30 кВт на 1 кВт холода, закрытая градирня с вентиляторами и насосом — порядка 0,02...0,04 кВт на 1 кВт.
- ☐ **Если чиллер в схеме остаётся, сравнены два варианта конденсации.** Воздушный чиллер и сухой охладитель привязаны к сухому термометру, мокрая градирня — к мокрому, а он в средней полосе на 6...9 К ниже. Разница по температуре конденсации получается порядка 8...12 К.
- ☐ **Эта разница переведена в электричество:** каждый градус температуры конденсации — 2...3 % потребления компрессора. Десять градусов дают порядка 20...30 % годового счёта, и это не разовая экономия, а каждый час работы машины.
- ☐ **Отдельно проверено, если в схеме АБХМ.** Абсорбционная машина отводит в контур примерно вдвое больше тепла, чем компрессорная той же холодопроизводительности, и рассчитана на охлаждающую воду порядка 30...32 °С на входе. Вода теплее — падает холодопроизводительность и растёт риск кристаллизации раствора.

- ☐ 18 **Под АБХМ градирня посчитана не по холоду машины, а по сумме холода и подведённого тепла.** Сухой охладитель здесь отпадает физически: он привязан к сухому термометру и летом такой воды не даст. Закрытая по температуре проходит, но на двойном тепле обычно становится неоправданно крупной. Рабочий вариант — открытая испарительная.
- ☐ 19 **Тип выбран под задачу, а не под бюджет.** Открытая — дешевле и эффективнее, вода контактирует с воздухом. Закрытая нужна там, где среду нельзя пускать в контакт с воздухом: гликоль, требования по чистоте контура. Сухая — там, где воды нет вовсе, но считать её надо по СУХОМУ термометру.
- ☐ 20 **Противоток или поперечный ток выбран осознанно.** Ограничена высота — поперечный. Нужна максимальная эффективность на минимальной площади — противоток. Важен доступ к водораспределению без останова — поперечный.
- ☐ 21 **Насадка выбрана под качество воды, а не по цене.** На грязной воде и взвешях плёночная насадка забьётся за сезон — нужна капельная или увеличенный шаг.
- ☐ 22 **Заявленный унос с каплеуловителей указан в паспорте.** Современный уровень — 0,002...0,0005 % расхода. Разница между 0,002 и 0,0005 — четырёхкратная, и это вопрос не только воды, но и санитарии: с каплями разлетается легионелла.



3. Водный баланс и водоподготовка: 9 проверок

- ☐ 23 **Посчитано испарение: $E = 0,0017 \times G \times \text{Range}$, м³/ч. Это физический минимум подпитки, ниже него не опустится ничто.**
- ☐ 24 **Посчитана продувка: $V = E / (N - 1)$, где N — цикл концентрирования.**

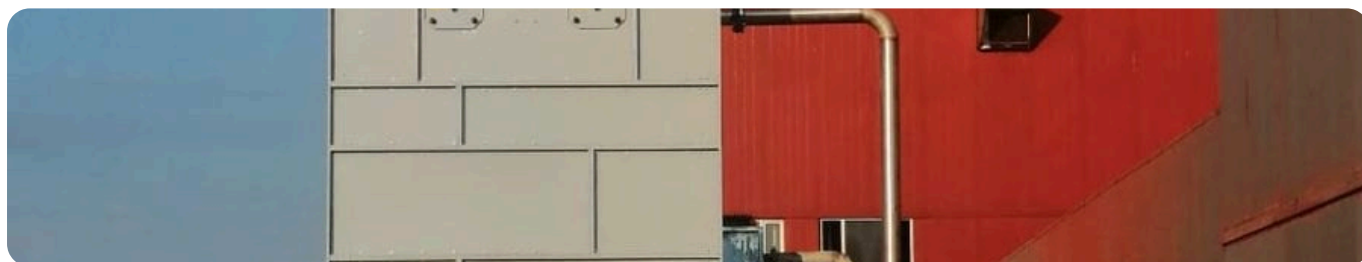
- ☐ 25 **Посчитана подпитка: $M = E + B$.** Цифра показана заказчику в кубометрах и в рублях за год ДО подписания договора.
- ☐ 26 **Цикл концентрирования выбран по химии подпиточной воды (жѐсткость, кремнекислота, хлориды), а не «чем больше, тем лучше».** Мировая практика при нормальной водоподготовке — 5–10 циклов; после 6–7 кривая экономии выполаживается, а риск отложений растѐт.
- ☐ 27 **Есть свежий анализ подпиточной воды.** Без него выбор реагентной программы — угадывание.
- ☐ 28 **В проекте заложен узел дозирования реагентов, и на площадке под него есть место и подход.**
- ☐ 29 **Продувка автоматическая, по солесодержанию, а не «вручную по регламенту».** Ручную продувку перестают делать на второй месяц.
- ☐ 30 **Заложены водоучѐт на подпитке и на продувке.** Без двух счѐтчиков цикл концентрирования не посчитать и режим не проверить.
- ☐ 31 **Заложена фильтрация бокового потока и приямок для сброса продувки.**



4. Насосная группа открытого контура: 7 проверок

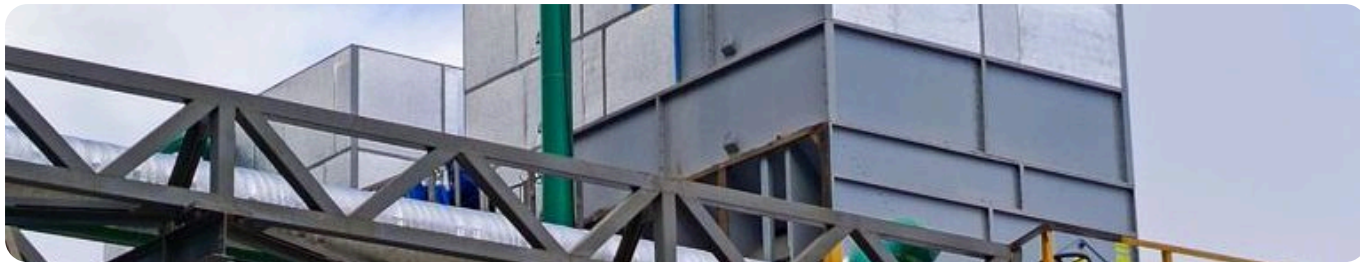
- ☐ 32 **Насос расположен ниже уровня воды в поддоне и рядом с градирней.** В открытом контуре нет расширительного бака, который задавал бы давление на всасывании: подпор создаѐт только столб воды над осью насоса.
- ☐ 33 **Кавитационный запас посчитан по формуле $NPSH_a = N_{атм} + N_{подпор} - N_{потери} - N_{пар}$, причѐм на ГОРЯЧЕЙ воде.** У обратной с градирни 35...40 °С давление насыщенных паров заметно выше, чем у воды 20 °С, и оно съедает запас.
- ☐ 34 **Запас между доступным и требуемым кавитационным запасом не меньше 0,5–1 м.** $NPSH_r$ берѐтся из паспорта насоса в рабочей точке и растѐт с расходом.

- ☐ 35 **Всасывающая линия короткая, без лишних колен, фильтр доступен для чистки и включён в регламент обслуживания.** Забитый фильтр съедает запас постепенно: авария выглядит внезапной и списывается на брак насоса.
- ☐ 36 **В напор насоса заложена геодезическая высота от уровня в поддоне до водораспределения.** В открытом контуре кольцо разрывается наверху градирни, и подъём не компенсируется спуском, как в закрытой системе.
- ☐ 37 **В напор заложен также напор перед форсунками из паспорта аппарата и запас на загрязнение труб за срок службы.** Недобрали напор — вода не раздаётся по всей насадке, часть площади не работает, аппарат недодаёт мощность при формально верном расходе.
- ☐ 38 **Резервирование посчитано честно.** Два одинаковых насоса, включённые параллельно, дают прирост расхода обычно 30–50 %, а не вдвое: характеристика сети — парабола, сопротивление растёт квадратично с расходом. Резерв 100 % не равен производительности 200 %. Если по технологии нужен полуторный расход — второй насос это закрывает, если двойной — схему надо считать иначе.



5. Санитария контура: 4 проверки

- ☐ 39 **Учтено, что рабочий диапазон 25–45 °C — идеальная температура для размножения легионеллы, а аэрозоль разносится ветром на сотни метров.**
- ☐ 40 **Прописана программа контроля:** не реже раза в месяц (летом чаще) — температура, pH, остаточный биоцид, микробиология.
- ☐ 41 **Определён порядок действий при превышении 100 КОЕ/мл:** гиперхлорирование, механическая чистка, повторный анализ — с документированием.
- ☐ 42 **Проверено, что факел градирни не попадает в воздухозабор приточных установок, окна и входные группы — ни своего здания, ни соседних.**



6. Зимний режим и режимы работы: 8 проверок

- ☐ 43 **Заложено регулирование вентиляторов частотным преобразователем, а не только «включено/выключено».**
- ☐ 44 **Предусмотрено ступенчатое управление по секциям:** полная скорость, малая, стоп, реверс — по очереди для разных ячеек.
- ☐ 45 **Предусмотрен байпас части воды мимо насадки для поддержания температуры в поддоне.**
- ☐ 46 **Решён вопрос обогрева поддона и греющего кабеля на трассах, посчитана электрическая мощность обогрева.**
- ☐ 47 **Предусмотрен слив при остановке — там, где аппарат может стоять в мороз.**
- ☐ 48 **Понятно, чем решается обмерзание:** конструкцией или накидными ветрозащитными экранами. Экраны надо ставить и снимать вручную каждый сезон — и однажды их не поставят.
- ☐ 49 **Для закрытой градирни проверено, предусмотрен ли зимний сухой режим.** Среда идёт внутри оребрённого змеевика, поэтому зимой воду с орошения можно слить и работать только обдувом, как драйкулером. На всю зиму снимаются подпитка и продувка, водоподготовка и анализы, обмерзание насадки и каплеуловителей, наледь на проездах и соседних конструкциях, слив и прогрев поддона. Порог перехода считается по нагрузке и наружной температуре, и он должен быть в проекте, а не «по усмотрению эксплуатации».

- ☐ 50 **Если рядом жильё, дороги, ЛЭП или есть требования по внешнему виду площадки — оценена необходимость режима снижения парения (сухопарник).** Белый шлейф над градирней это не пар, а туман: насыщенный воздух мокрой секции встречает холодный наружный, и влага выпадает каплями. Сухая оребрённая секция подогревает часть потока без увлажнения, потоки смешиваются в общем пленуме, и смесь остаётся ненасыщенной. Доля сухого потока зависит от наружной температуры: около +5 °С нужно 10–40 %, в сильный мороз 80–90 %. Решение конструктивное, докупить его потом нельзя.



7. Размещение и площадка: 6 проверок

- ☐ 51 **Обеспечен свободный подсос воздуха со всех сторон воздухозабора.** Зажатый между стенами аппарат засасывает собственный влажный выброс, мокрый термометр на входе растёт на 1...3 К — и подбор перестаёт быть верным.
- ☐ 52 **Рядом и выше градирни нет препятствий:** стен, соседних аппаратов, высоких парапетов, которые прижмут факел вниз.
- ☐ 53 **Расстояния до стен и между секциями взяты из руководства конкретного аппарата.** Универсальной цифры на все градирни не существует — эти значения задаёт производитель.
- ☐ 54 **Учтена роза ветров: понятно, куда снесёт факел и куда полетят капли зимой (обледенение проездов, кровель, автомобилей, конструкций соседей).**
- ☐ 55 **Посчитан шум до ближайшего нормируемого объекта.** Ориентир для прикидки: $L_p \approx L_w - 20 \cdot \lg(r) - 8$; каждое удвоение расстояния даёт минус 6 дБ. Сравнивать чужие цифры можно, только зная, звуковая это мощность или давление и на каком расстоянии.



56

При размещении на кровле проверены не только опоры машины, но и нагрузка на перекрытие и собственная частота плиты. Если она близка к рабочей частоте оборудования, гудеть будет всё здание независимо от качества виброизоляторов — и это вопрос к конструкторам здания, поднять который должен проектировщик.

Что делать с этим списком

Пройдите по нему свой ближайший проект. Если наберётся больше трёх незакрытых пунктов — это не повод переживать, это нормальная картина: часть данных обычно приходит от смежников и заказчика, а не рождается за вашим столом. Список нужен, чтобы вопросы были заданы до выдачи, а не после пуска.

Вопросы по конкретному объекту разбираю лично в Telegram-канале «Максим, нужно охлаждение!» — t.me/krasnov_energy

Максим Краснов, генеральный директор «Энергии холода» / NCT

Разбираю объекты лично

Прислали расчётную точку и план площадки — скажу, где будут проблемы, до того как документация ушла заказчику.

t.me/krasnov_energy

Telegram-канал «Максим, нужно охлаждение!»

Разборы объектов, ошибки проектов, цифры по оборудованию



«Энергия холода» / NCT · Санкт-Петербург · t.me/krasnov_energy

Чек-лист распространяется свободно — перешлите коллегам