

Руководство для инженеров

Драйкулеры, АВО и испарительные конденсаторы NST Проектирование и обвязка

Сухое, адиабатическое и испарительное охлаждение:
выбор, расчёты, схемы включения, обвязка, зима, автоматика,
нормы



Содержание

Введение	6
1. Когда что ставить	7
2. Линейка NCT	14
3. Исходные данные	20
4. Расчёты с примерами	25
5. Схемы включения	34
6. Обязка	44
7. Зима и вода	55
8. Размещение	59
9. Автоматика	64
10. Российские нормы	71
11. Самопроверка	74
12. Наши объекты	77
Словарь терминов	81
Список литературы	82

Список рисунков

Рисунок 1	Драйкулер NCT серии DC: V-образный теплообменник, ряд осевых вентиляторов сверху, щит на раме	8
Рисунок 2	Драйкулер и адиабатический драйкулер: без воды и с водой только в жару. Зимой оба работают сухими	9
Рисунок 3	Испарительный конденсатор: перегретый пар хладагента конденсируется в змеевике, орошаемом водой; жидкий хладагент стекает в ресивер	11
Рисунок 4	Дерево выбора: что внутри контура, есть ли вода, нужна ли летом температура ниже сухого термометра	12
Рисунок 5	Драйкулер NCT с адиабатическим охлаждением, вертикальное исполнение	15
Рисунок 6	Испарительный конденсатор NCT VRX: центробежные вентиляторы в нижнем сухом отсеке, забор воздуха с одной стороны	16
Рисунок 7	ИК серии SVAX: осевые вентиляторы сверху, воздух по периметру, насос орошения из поддона	17
Рисунок 8	Оребрѐнный змеевик e-исполнения: мокрый режим летом, сухой — зимой	18
Рисунок 9	Сколько тепла уходит на наружный аппарат на 1 кВт холода у разных машин	20
Рисунок 10	Восемь вопросов к холодильщику до подбора испарительного конденсатора	23
Рисунок 11	Чем ближе жидкость к температуре воздуха, тем быстрее растѐт площадь драйкулера: 10 К — база, 6 К — вдвое, 4 К — вчетверо	27
Рисунок 12	Поправка на гликоль в пять шагов: расход, поверхность, насос, затраты на перекачку	28
Рисунок 13	Водный баланс контура орошения: испарение, продувка, унос и подпитка	32
Рисунок 14	Драйкулер на конденсаторе чиллера: гликоль прямо через конденсатор или через пластинчатый теплообменник (+2–4 К, второй насос, бак и подпитка)	35
Рисунок 15	Чиллер водяного охлаждения NCT с драйкулером NCT: гликолевый контур конденсатора 40/45 °С со своим баком и подпиткой раствором	35
Рисунок 16	Три схемы свободного охлаждения: теплообменник перед испарителем, градирня с пластинчатым теплообменником, драйкулер конденсатора с переключением	36
Рисунок 17	Режимы фрикулинга по наружной температуре для графиков 7/12 и 12/18 °С при $\Delta = 7$ К	37
Рисунок 18	Драйкулер в технологии: напрямую на гликоле, через теплообменник для воды или масла, с доохлаждением чиллером летом	38
Рисунок 19	Испарительный конденсатор с линейным ресивером: слив самотѐком, уравнительная линия держит давление в ресивере	39
Рисунок 20	Выносной бак контура орошения в тёплом помещении: поддон аппарата сухой, вода стекает в бак самотѐком	40
Рисунок 21	Параллельные ИК: свой опуск с гидрозатвором у каждого, уравнительная линия — в нагнетательный коллектор	41
Рисунок 22	Форконденсатор снимает перегрев до основного змеевика; его потеря давления — в расчѐт опуска	42
Рисунок 23	Обязка гликолевого контура драйкулера: коллекторы, воздухоотводчики в верхних точках, дренажи в нижних, мембранный бак на всасе насоса, подпитка готовым раствором	44

Рисунок 24	Поплавковый воздухоотводчик: стравливает воздух, пока в корпусе нет жидкости; ставится в верхней точке, вертикально, через отсечной кран	45
Рисунок 25	Мембранный бак: газовая подушка сжимается и принимает прирост объёма; полезная доля объёма $1 - P_n / P_k$ на абсолютных давлениях	46
Рисунок 26	Сифонный опуск: столб жидкости высотой h компенсирует потерю давления в змеевике; короткий опуск затапливает нижние ряды	48
Рисунок 27	Линейный ресивер высокого давления: вход из сливного коллектора, уравнивательная линия к нагнетательному коллектору, указатель уровня, максимальное заполнение не «под крышку»	49
Рисунок 28	Высотная схема: отметка выхода ИК складывается из отметки ресивера, уклона коллектора и высоты опуска	50
Рисунок 29	Многоточечный воздухоотделитель открывает точки отбора по одной и не ломает гидрозатворы	51
Рисунок 30	Контур орошения: что поставляет завод и что показывает проект — подпитка, продувка, перелив, дренаж, греющий кабель, ХВП	52
Рисунок 31	Узел продувки: отбор с нагнетания насоса, клапан по электропроводности, водомер, разрыв струи; перелив, ручной кран и слив со дна поддона продувкой не являются	53
Рисунок 32	Аварийный слив: отсечка с приводом, слив снизу, воздух сверху через клапан срыва вакуума, дренажный бак	56
Рисунок 33	Три зимние схемы контура орошения: мокрый режим с ТЭНом, сухой режим с опорожнённым поддоном, выносной бак в тёплом помещении	57
Рисунок 34	Стена выше аппарата возвращает выброс в воздухозабор; подъём на раму выше стены убирает рециркуляцию	60
Рисунок 35	Группа драйкулеров на кровле: общий горячий факел, подсос его к крайним аппаратам у парапета и правильная компоновка в ряд с выбросом выше парапета	60
Рисунок 36	Метод конверта: минимальный отступ воздухозабора от сплошной стены по допустимой скорости воздуха	61
Рисунок 37	Уровни автоматики: полевые приборы, локальные щиты, диспетчерская. Между щитами — разрешение работы, авария, уставка	64
Рисунок 38	Регулирование вентиляторов драйкулера по температуре жидкости: ступени, общий частотный привод и закон куба	66
Рисунок 39	Как щит держит давление конденсации круглый год: датчик на нагнетательном коллекторе, частотники вентиляторов, насос орошения в мокром режиме включён всегда	67
Рисунок 40	Сигнал «насос орошения не работает» идёт в два щита: ИК и холодильной установки	68
Рисунок 41	КИП аппарата со змеевиком и орошением: внутренний контур и контур орошения	69
Рисунок 42	Испарительный конденсатор NCT на морозильном складе, Сахалинская обл.	78
Рисунок 43	Ряд V-образных драйкулеров NCT на кровле производства жидких пестицидов, Республика Татарстан	79

Список таблиц

Таблица 1	Предел охлаждения для разных аппаратов в один летний день	9
Таблица 2	Выбор аппарата по задаче	12
Таблица 3	Рабочие пределы драйкулера DC	14
Таблица 4	Испарительные конденсаторы NCT: что под какую задачу	17
Таблица 5	Что указать о среде для каждого аппарата	21
Таблица 6	Критичные поля опросных листов	23
Таблица 7	Недоохлаждение драйкулера и нужная площадь теплообмена	26
Таблица 8	Расход воздуха драйкулера на 1300 кВт при разном нагреве воздуха	28
Таблица 9	Скорость вентилятора, расход воздуха и потребляемая мощность	29
Таблица 10	Пример 1: драйкулер для водяного чиллера 1000 кВт, Москва	32
Таблица 11	Расшифровка номеров: чиллер и драйкулер	35
Таблица 12	Узлы обвязки: зачем и что будет, если забыть	53
Таблица 13	Температура замерзания водных растворов гликоля	55
Таблица 14	Зимние схемы контура орошения ИК	57
Таблица 15	Минимальное расстояние D1 от воздухозабора VRX до стены, м	61
Таблица 16	Автоматика в составе поставки NCT: стандарт и опции	64
Таблица 17	Защиты драйкулера и испарительного конденсатора	69
Таблица 18	Минимальный перечень сигналов аппарата	70
Таблица 19	Нормы для проекта с драйкулером, АВО и испарительным конденсатором	71
Таблица 20	Где решения по аппарату ложатся в проект	73
Таблица 21	Типичные ошибки проекта с драйкулером, адиабатикой и испарительным конденсатором	74
Таблица 22	Испарительные конденсаторы NCT: объекты с описанной задачей	77
Таблица 23	Драйкулеры NCT тип DC: где работают	78

К ЧИТАТЕЛЮ

Дорогие коллеги! Это руководство. Он объясняет, как работают сухой охладитель, адиабатический охладитель, аппарат воздушного охлаждения и испарительный конденсатор, почему схему, обвязку и автоматику делают так, а не иначе, и даёт цифры для проверки расчёта. Но каждый объект живёт по своим условиям: свой климат, своя среда, 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 холодоснабжения и тепломеханики** — всё руководство, в первую очередь разделы 3–8 и чек-листы;
- **проектировщик холодильной установки на аммиаке или фреоне** — разделы 4–7, где разобран испарительный конденсатор, и раздел 10;
- **ГИП и главный инженер заказчика** — разделы 1–3 (что ставить и какие данные собрать) и раздел 11 (типовые ошибки);
- **технолог предприятия** — разделы 1, 3 и 5 (охлаждение технологических сред);
- **проектировщик автоматики** — раздел 9;
- **эксперт и технический надзор** — разделы 10 и 11.

Порядок разделов повторяет порядок работы над проектом:

- **разделы 1–2** — выбрать тип аппарата и серию;
- **раздел 3** — собрать исходные данные и заполнить опросный лист;
- **раздел 4** — посчитать нагрузку, расходы, воздух, воду и электрику;
- **разделы 5–6** — выбрать схему включения и нарисовать обвязку;
- **разделы 7–9** — зима и вода, размещение на площадке, автоматика;
- **разделы 10–12** — российские нормы, самопроверка с итоговым чек-листом, наши объекты.

Темы, подробно разобранные в других книгах серии, здесь даны коротким выводом со ссылкой: закрытые и открытые градирни, качество оборотной воды — в руководстве «Градирни NCT» (ЭХ-АРМ002-RU); свободное охлаждение и выносной конденсатор чиллера — в руководстве «Чиллеры NCT» (ЭХ-АРМ003-RU). **Рабочая цифра для проекта — всегда из листа подбора конкретного аппарата на ваш режим:** его выдаём бесплатно по опросному листу (раздел 3).

ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем проектировщику. «Энергия Холода» — производитель оборудования NCT с собственным конструкторским бюро и заводом. Проектировщику заказчика бесплатно: подбор аппарата на ваш режим, основные технические решения (ОТР), схемы обвязки и проверка раздела до экспертизы.

1. Когда что ставить

Все аппараты этой книги делают одну работу: забирают тепло у технологии или холодильной машины и отдают его наружному воздуху. Различаются они тремя признаками: что течёт внутри (вода, гликоль, масло, газ или хладагент), под каким давлением, и есть ли испарение воды снаружи теплообменника.

Ошибка в выборе типа аппарата не лечится подбором. Драйкулер, поставленный туда, где нужна вода 28 °С в июле, не даст её ни с каким запасом по площади. Поэтому начинаем с физики и границ, а серии NCT разбираем в разделе 2.

1.1. Пять аппаратов и их соседи

- **Сухой охладитель, драйкулер (dry cooler).** Оребрѐнный теплообменник и осевые вентиляторы. Жидкость идёт по трубкам, воздух обдувает рѐбра, тепло уходит только нагревом воздуха. Агрегатное состояние жидкости не меняется, воды снаружи нет. Это аппарат системы холодо-снабжения: вода или гликоль от конденсатора чиллера, от оборудования, от контура фрикулинга.
- **Адиабатический драйкулер (adiabatic dry cooler).** Тот же драйкулер плюс контур увлажнения воздуха на входе. В жару вода распыляется перед теплообменником, испаряется в воздухе, и воздух холодеет. Жидкость внутри по-прежнему не касается атмосферы. Остальное время аппарат работает сухим.
- **Аппарат воздушного охлаждения, АВО (air-cooled heat exchanger).** Технологический аппарат нефтегаза, нефтехимии и химии. Охлаждает и конденсирует газы, пары и жидкости технологического процесса, часто под высоким давлением, горючие и токсичные. По принципу это тоже «сухой» теплообменник с вентиляторами, но проектируется он по другим правилам: прочность, взрывозащита, свойства среды.
- **Испарительный конденсатор, ИК (evaporative condenser).** Внутри змеевика конденсируется пар хладагента от компрессора холодильной установки. Снаружи змеевик орошается водой из поддона, вода испаряется и уносит тепло. ИК — ступень холодильного цикла, а не контур воды.
- **Соседи по выбору.** Открытая и закрытая градирни охлаждают воду или гликоль испарением; это тема руководства ЭХ-АРМ002-RU «Градирни NCT». Чиллер со свободным охлаждением получает холод от наружного воздуха без компрессора зимой; это тема ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 7. Здесь — только границы с ними.

Рисунок 1 Драйкулер NCT серии DC: V-образный теплообменник, ряд осевых вентиляторов сверху, щит на раме



1.2. Физика в двух словах: сухой и мокрый термометр

Температура сухого термометра (dry-bulb temperature) — то, что показывает уличный термометр. Температура мокрого термометра (wet-bulb temperature) — предел, до которого воздух можно охладить испарением воды. В жаркий день средней полосы разница между ними достигает 7–10 К.

Отсюда главное правило выбора:

- **сухой аппарат** (драйкулер, АВО) охлаждает жидкость только до **сухого термометра плюс недоохлаждение** (approach — разница между температурой жидкости на выходе и температурой воздуха на входе). Ниже температуры воздуха он не охладит физически;
- **испарительный аппарат** (ИК, закрытая и открытая градирни) работает от **мокрого термометра**. Летом это на 7–10 К ниже, поэтому вода или температура конденсации получаются заметно ниже;
- **адиабатический драйкулер** в жару сдвигает воздух на входе от сухого термометра к мокрому. Насколько — решают климат и подбор.

По каталогу NCT драйкулер DC применяют, когда теплоноситель достаточно охладить до температуры **на 3–5 °С и более выше температуры окружающей среды**. Это нижняя граница недоохлаждения: ближе к воздуху аппарат растёт непропорционально. Экономически оправданные величины для сухих охладителей больше; подробный разбор с цифрами — в руководстве ЭХ-АРМ002-RU, раздел 1.5.

Расчёт: один летний день, четыре аппарата. Расчётный сухой термометр 30 °С, мокрый 22 °С (учебные цифры, близкие к Москве; для проекта — по СП 131.13330.2025, см. раздел 3.3).

Таблица 1 Предел охлаждения для разных аппаратов в один летний день

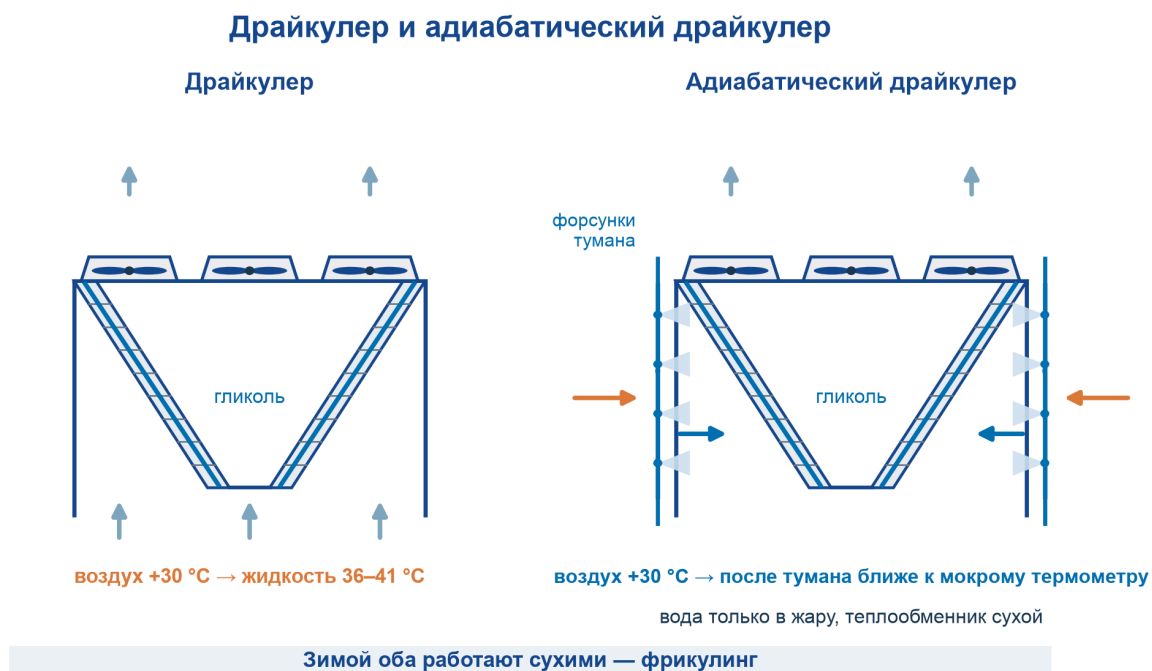
Аппарат	От какой температуры воздуха	Расчёт	Что получаем
Драйкулер DC	Сухой термометр 30 °С	30 + 3...5 К и больше	Жидкость не холоднее 33–35 °С, на практике теплее
Адиабатический драйкулер	Воздух после увлажнения	30 – 5 К (нижняя граница ТКП NCT) = 25 °С; предел – 22 °С	Жидкость холоднее, чем у сухого, на величину предохлаждения
Испарительный конденсатор	Мокрый термометр 22 °С	Базовая точка каталога NCT: t к = 35 °С при мокром 22 °С	Напор 13 К к мокрому термометру
Воздушный конденсатор чиллера	Сухой термометр 30 °С	Конденсация на 10–15 К выше воздуха (ЭХ-АРМ003-RU, раздел 3.4)	t к = 40–45 °С

Последние две строки показывают, зачем вообще нужен испарительный конденсатор: при одном и том же воздухе он держит конденсацию на 5–10 К ниже воздушного аппарата. Каждый градус конденсации — это мощность компрессора (ЭХ-АРМ003-RU, раздел 1.4).

ПРИМЕЧАНИЕ

Предохлаждение не бывает больше разницы «сухой минус мокрый». По технико-коммерческим предложениям NCT адиабатика снижает температуру воздуха на входе на 5–15 К в зависимости от климата. Верхняя цифра — для сухого жаркого климата. Для Москвы расчётная разница сухого и мокрого термометра по ASHRAE (обеспеченность 0,4 %) — 29,9 – 22,1 = 7,8 К, поэтому реалистичная цифра здесь ближе к 5 К (ЭХ-АРМ003-RU, раздел 7.5).

Рисунок 2 Драйкулер и адиабатический драйкулер: без воды и с водой только в жару. Зимой оба работают сухими



1.3. Драйкулер и адиабатический драйкулер: где они на своём месте

Каталог и технико-коммерческие предложения NCT называют пять случаев, когда сухой охладитель — правильный выбор:

- нужная температура теплоносителя выше температуры наружного воздуха на 3–5 °С и более;
- теплоноситель нельзя приводить в контакт с внешней средой: высокие требования к чистоте контура;
- теплоноситель — не вода, а раствор этиленгликоля или пропиленгликоля;
- на площадке нет воды на подпитку и нельзя организовать водооборотный цикл;
- нужно охладить жидкость с высокой температурой — 60–70 °С.

Типовые задачи: контур конденсатора водяного чиллера, свободное охлаждение, технологические жидкости, линии с электрогенераторами. Зимой драйкулер на гликоле не обмерзает и работает на фрикулинг.

Адиабатика нужна тогда, когда сухой аппарат проходит по зиме и межсезонью, но не держит температуру в самые жаркие часы. Она не превращает драйкулер в градирню: воду тратит только на испарение и только в пиковые часы, а зимой и в межсезонье аппарат работает «сухим». У драйкулеров NCT схема увлажнения высоконапорная: вода через форсунки распыляется в мелкий туман, капли испаряются в потоке до теплообменника, оребрение остаётся сухим.

ВНИМАНИЕ

Адиабатика — это вода, пусть и не каждый день. В пиковые часы она нужна обязательно, и её качество важно: соли с необработанной воды оседают на оребрении. Распыл воды в воздух — аэрозоль, санитарные вопросы остаются. На зиму линию к форсункам опорожняют. Требования к воде и узлам — в разделе 7.

1.4. АВО: когда задача технологическая

Аппарат воздушного охлаждения выбирают не по температуре, а по среде. Если в трубках технологический газ, пар или жидкость процесса, а не теплоноситель системы холодоснабжения, — это АВО. По листовке NCT аппараты рассчитаны на:

- давление охлаждаемой среды до **32,0 МПа** или вакуум с остаточным давлением не ниже **665 Па**;
- температуру среды не выше **400 °С**;
- охлаждение газов, охлаждение жидкостей и конденсацию паров в нефтегазодобыче, нефтепереработке, нефтехимии и других отраслях.

Граница с драйкулером простая. Вода или гликоль системы холодоснабжения при обычных давлениях — драйкулер DC. Угледородный газ, продукт колонны, масло технологической установки, среда с сероводородом или под давлением в десятки бар — АВО с расчётом по свойствам среды, классом присоединений, материалом труб под коррозионную среду и взрывозащитой. Опросный лист АВО в разделе 3.6 показывает, насколько больше данных нужно для такого аппарата.

1.5. Испарительный конденсатор: граница с закрытой градирней и воздушным конденсатором

Правило одно: **если тепло отводится прямо от хладагента** — аммиака, фреона, пропана, бутана, CO₂, — это испарительный конденсатор. Если у заказчика чиллер с водой или гликолем в контуре

конденсатора и эту жидкость нужно охладить — это закрытая градирня (ЭХ-АРМ002-RU) или драйкулер.

Рисунок 3 Испарительный конденсатор: перегретый пар хладагента конденсируется в змеевике, орошаемом водой; жидкий хладагент стекает в ресивер



Почему ИК, а не связка «водяной конденсатор + градирня»: у ИК один теплообмен (хладагент — орошаемая стенка — воздух) вместо двух, без промежуточного водяного контура и его насосов. Почему ИК, а не воздушный конденсатор: он работает от мокрого термометра и летом держит конденсацию ниже (раздел 1.2).

Чем ИК платит за это:

- **вода:** орошение испаряется, нужны подпитка, продувка и водоподготовка, как у закрытой градирни (раздел 7);
- **зима:** поддон и линии орошения защищают от замерзания или переводят аппарат в сухой режим;
- **холодильная часть:** ресивер, сифоны, уравнильные линии и воздухоотделитель — обвязка по хладагенту (раздел 6).

ИК НСТ подбирают **от 250 кВт**. При меньшей мощности рассматривают водяной конденсатор с закрытой градирней или воздушный конденсатор.

1.6. Граница с чиллером и свободным охлаждением

Драйкулер не делает холодную воду 7/12 °C летом. Если технологии или кондиционированию нужна вода ниже температуры наружного воздуха, это работа чиллера, а драйкулер в такой схеме снимает тепло с его конденсатора. Помните, что на наружный аппарат идёт тепло конденсации, а не холод: $Q_k = Q_0 \times (1 + 1 / \text{COP})$, где COP — холодильный коэффициент машины.

Зимой картина обратная. Когда на улице холоднее воды, драйкулер на гликоле даёт холод без компрессора — это свободное охлаждение, фрикулинг (free cooling). Порог считают так: частичный

фрикулинг — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{обр}} - \Delta$, полный — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{под}} - \Delta$, где Δ — сумма недоохлаждений драйкулера и промежуточного теплообменника.

Пример: вода 7/12 °С, $\Delta = 5 + 2 = 7$ К (учебные цифры) — частичный фрикулинг ниже 5 °С, полный ниже 0 °С. Подробно, с часами по климату, — в ЭХ-АРМ003-RU, раздел 7; схемы переключения драйкулера — в разделе 5 этой книги.

1.7. Таблица выбора по задаче

Рисунок 4 Дерево выбора: что внутри контура, есть ли вода, нужна ли летом температура ниже сухого термометра

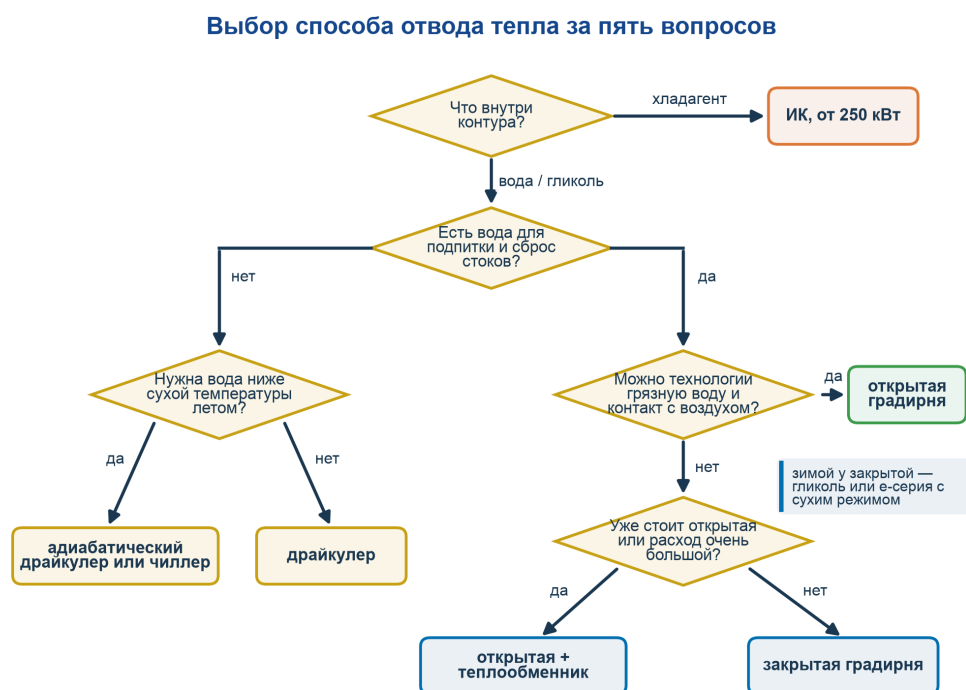


Таблица 2 Выбор аппарата по задаче

Признак	Драйкулер DC	Адиабатический драйкулер	АВО	Испарительный конденсатор	Закрытая градирня (ЭХ-АРМ002-RU)
Среда внутри	Вода, растворы гликолей	Вода, растворы гликолей	Технологические газы, пары, жидкости	Хладагент: R717, фреоны, пропан, бутан, CO ₂	Вода, гликоль
Давление среды	Обычное для систем ХС	Обычное для систем ХС	До 32,0 МПа или вакуум	Давление холодильного контура	Обычное для систем ХС
Предел по воздуху	Сухой термометр	Между сухим и мокрым в жару	Сухой термометр	Мокрый термометр	Мокрый термометр
Температура среды	Жидкость с 60–70 °С и выше; теплообменник до +80 °С	Как у драйкулера	До 400 °С	Перегрев пара выше 90 °С — с форконденсатором	По подбору
Вода на площадке	Не нужна	Только в жару, подготовленная	Не нужна; орошение — опция, кроме Крайнего Севера	Подпитка, продувка, водоподготовка	Подпитка, продувка, водоподготовка

Признак	Драйкулер DC	Адиабатический драйкулер	ABO	Испарительный конденсатор	Закрытая градирня (ЭХ-АРМ002-RU)
Зима	Гликоль, обмерзания нет, фрикулинг	Работает сухим, линию воды сливают	По климатическому исполнению У1 или УХЛ1	Сухой режим, подогрев или вынос поддона	Гликоль или сухой режим
Шум	Осевые вентиляторы, плавное регулирование скорости	Как у драйкулера	Задаётся в опросном листе на 15 м	VRX и HRX — низкооборотные центробежные; SVAX — осевые с прямым приводом	По подбору
Площадь	Большая: нужна поверхность и воздух	Как у драйкулера	По подбору	Компактно: один аппарат вместо двух контуров	Мало
Типовой объект	Конденсатор водяного чиллера, ЦОД, объекты без воды, высокотемпературные жидкости	Площадки без воды с жарким летом	НПЗ, газопереработка, химия	Аммиачные и фреоновые холодильные установки, пищевые и химические производства	Фарма, электроника, ЦОД, чиллеры

Идите по таблице сверху вниз: первые две строки отсекают по среде и давлению, третья — по физике, строки «Вода» и «Зима» — по площадке.

ВАЖНО

Когда драйкулер не годится. Технологии нужна летом вода ниже температуры наружного воздуха — или выше, но ближе к ней, чем на 3–5 К. Сухой аппарат эту точку не даст ни с каким запасом: предел у него — сухой термометр плюс недоохлаждение. Что вместо него: испарительный аппарат (закрытая градирня, ЭХ-АРМ002-RU), если вода нужна около мокрого термометра плюс несколько кельвинов; адиабатический драйкулер — только после проверки подбором на расчётный час; чиллер — если нужна вода ниже мокрого термометра. Тот же вопрос задайте для чиллера с драйкулером на конденсаторе: более тёплый гликоль поднимает конденсацию и снижает холодопроизводительность машины.

Чек-лист раздела 1: тип аппарата выбран обоснованно

- ☐ Известно, что течёт внутри: вода, гликоль (тип и концентрация), технологическая среда или хладагент.
- ☐ Для технологической среды под давлением выбран ABO, а не драйкулер.
- ☐ Для хладагента выбран испарительный конденсатор, мощность конденсации не меньше 250 кВт.
- ☐ Нужная летняя температура жидкости сравнена с расчётным сухим термометром плюс 3–5 К и больше.
- ☐ Если драйкулер не проходит по лету, рассмотрены адиабатика, закрытая градирня или чиллер — и записано почему.
- ☐ Проверено, есть ли на площадке вода на подпитку и сброс стоков.
- ☐ Для круглогодичной нагрузки оценен фрикулинг и посчитаны пороги переключения.

Правило прохода: если хоть на один вопрос нет ответа, к подбору серии (раздел 2) переходить рано.

2. Линейка NCT

Ниже — что выпускает NCT под задачи раздела 1, из чего это сделано и какие опции заказывают. Цифры — из каталогов и технико-коммерческих предложений (ТКП). Рабочие характеристики конкретного аппарата на ваш режим — только из листа подбора, который мы выдаём по опросному листу (раздел 3.6).

2.1. Драйкулеры тип DC

Драйкулер NCT тип DC — промышленный охладитель жидкости, сухая градирня: теплоноситель циркулирует в теплообменнике, который обдувается наружным воздухом. Мощность охлаждения — **от 300 кВт**. Три исполнения:

- **горизонтальное** — теплообменник лежит, вентиляторы сверху; ставят на землю или кровлю;
- **вертикальное** — теплообменник стоит, воздух идёт горизонтально; для узких технических проездов и мест между зданиями;
- **V-образное** — два теплообменника под углом, ряд вентиляторов сверху; больше поверхности на метр длины.

Монтаж — на ножках или кронштейнах, разгрузочная рама не нужна.

Конструкция (каталог DC): корпус (1), стальная оцинкованная рама (2), оребрённый водо-воздушный теплообменник (3), осевые вентиляторы (4). Корпус и панели — оцинкованная сталь с защитным полимерным покрытием. Гарантия от сквозной коррозии — 10 лет, стандартная гарантия — 12 месяцев с пусконаладки, но не более 18 месяцев с отгрузки.

Рабочие пределы по ТКП NCT:

Таблица 3 Рабочие пределы драйкулера DC

Узел	Диапазон
Вентиляторы, температура окружающего воздуха	от -35 до +55 °C
Теплообменник, температура теплоносителя	от -35 до +80 °C
Воздух на выходе из теплообменника	не выше +55 °C, иначе выходят из строя вентиляторы

Последняя строка важна для горячих жидкостей: при 70–80 °C на входе воздух на выходе может перейти 55 °C, это проверяют в подборе. И условие ТКП: теплоноситель выбирают по климату площадки — диапазон аппарата не заменяет концентрацию гликоля.

В комплект по ТКП входят: кабельная проводка в стандартном исполнении, регулятор скорости вращения вентиляторов, датчики температуры на каждый контур, щит управления (для установки в помещении с регулируемым климатом), антикоррозийное покрытие теплообменников. Цвет — RAL 7040, другой по запросу.

Опции по опросному листу: щит управления и защиты; частотный преобразователь для плавного регулирования скорости вентиляторов; кнопка экстренного останова; ремонтные выключатели на каждый вентилятор; виброопоры; шумозащитный экран по периметру; запорная арматура на каждый теплообменник; антивандальная защитная сетка; SCADA-система с протоколами Modbus и Ethernet. Исполнение теплообменника фиксируется в листе подбора: в опросном листе сухого охладителя указан микроканальный алюминиевый теплообменник, уточняйте его при запросе.

2.2. Адиабатическое исполнение

Драйкулер DC с адиабатическим охлаждением — тот же аппарат с дополнительным контуром увлажнения воздуха на входе. По ТКП NCT:

- схема **высоконапорная**: вода под высоким давлением распыляется форсунками в мелкодисперсный туман перед секциями теплообменника, капли испаряются до контакта с оребрением;
- температура воздуха на входе снижается на **5–15 °С** в зависимости от климата;
- автоматика включает увлажнение выше заданного порога наружной температуры; зимой и в межсезонье аппарат работает сухим, без расхода воды;
- по данным производителя, адиабатика снижает суммарное энергопотребление системы охлаждения на пиковых режимах **до 30 %**;
- теплоноситель остаётся в замкнутом контуре, подпитка технологического контура не нужна.

Рисунок 5 Драйкулер NCT с адиабатическим охлаждением, вертикальное исполнение



Требования к воде, давление и расход на форсунки выдаём с подбором.

2.3. Аппараты воздушного охлаждения

АВО NCT — для охлаждения и конденсации газообразных, парообразных и жидких сред в нефтегазодобыче, нефтепереработке и нефтехимии. Четыре типа:

- АВГ — горизонтальные;
- АВЗ — зигзагообразные;
- АВМ — малопоточные;
- АВД — дельтаобразные.

Параметры по листовке NCT: давление среды до 32,0 МПа или вакуум с остаточным давлением не ниже 665 Па; температура среды не выше 400 °С; климатическое исполнение У1 и УХЛ1 по ГОСТ 15150; несущая конструкция пригодна для районов с сейсмичностью до 7 баллов по СП 14.13330

(СНиП II-7) и скоростным напором ветра по IV географическому району по СП 20.13330 (СНиП 2.01.07).

Число рядов секций, материал труб и рёбер, взрывозащиту и орошение выбирают в опросном листе (раздел 3.6). Гарантия — 12 месяцев, при договоре сервисного обслуживания — до 60 месяцев.

2.4. Испарительные конденсаторы VRX, SVAX, VAX, HRX

Испарительные конденсаторы NCT предназначены для охлаждения и конденсации паров хладагента: аммиака, галогенсодержащих фреонов, пропана, бутана, CO₂. Базовая точка каталога: **R717, температура конденсации 35 °С, мокрый термометр 22 °С, воздух 31 °С при влажности 44 %**. Каталожная мощность — от 250 до 3500 кВт на аппарат. Оборудование соответствует ТР ТС 032/2013, есть сертификаты сейсмостойкого и взрывопожаробезопасного исполнения.

Рисунок 6 Испарительный конденсатор NCT VRX: центробежные вентиляторы в нижнем сухом отсеке, забор воздуха с одной стороны



VRX — центробежный вентилятор снизу, противоток. Вентиляторы типа «беличье колесо» диаметром 800 мм, 300–500 об/мин, ременный привод; от 1 до 6 вентиляторов в аппарате, привод от одного или двух электродвигателей. Вентилятор и двигатель стоят в потоке сухого наружного воздуха и не обмерзают. Воздух забирается с одной стороны, поэтому VRX можно ставить вплотную к стене или «спина к спине», а для Крайнего Севера — внутри помещения. Высокий напор вентилятора позволяет ставить глубокий теплообменник. Типоразмеры VRX0–VRX4, по шесть высот; VRX3 и VRX4 — двухсекционные.

SVAX — несколько осевых вентиляторов сверху. Осевые вентиляторы 800–1200 мм с прямым приводом, без ремней и редукторов, двигатели IP55; от 1 до 12 вентиляторов в модуле. Воздух забирается по всему периметру. Каталог рекомендует SVAX для мягкого и умеренного климата: много вентиляторов дают ступенчатое регулирование и лучшее соотношение затраченной электрической мощности к холодильной. При установке у стены перекрывается одно или два из четырёх воздухозаборных окон — это снижает производительность и учитывается в подборе.



VAX — один большой осевой вентилятор. Для больших мощностей, **от 1 МВт**. Осевой вентилятор диаметром 2000–3000 мм с регулируемыми лопастями, ременный привод, двигатель до 45 кВт вынесен из влажного потока. Забор воздуха с четырёх сторон; возможна установка в помещении с воздуховодом на выходе.

HRX — компактный центробежный. Для малой мощности, **до 1 МВт**, при ограничениях по высоте и шуму; ширина — от 1250 мм. Вентиляторный блок с центробежным вентилятором стоит сбоку, а не снизу, как у VRX, поэтому аппарат ниже.

Конструкция. У всех ИК NCT трубы змеевика уложены с уклоном, а в поддоне три патрубка: подпитка, перелив, дренаж. Каталог подробно описывает VRX: змеевик — стальная горячеоцинкованная труба 26 × 1,5 мм, по запросу нержавеющая сталь AISI 304 или AISI 316; секции поставляются заправленными азотом; корпус — оцинкованная сталь толщиной 2 мм с двусторонним порошковым покрытием, сборка на болтах и герметике, без сварки; опция — корпус из нержавеющей стали; перед отгрузкой — гидравлические испытания в течение 24 часов. Насос орошения у VRX в стандартном исполнении не поставляется, у SVAX он встроенный. Исполнение конкретного аппарата фиксирует лист подбора.

Таблица 4 Испарительные конденсаторы NCT: что под какую задачу

Серия	Вентилятор	Мощность по каталогу (R717, t к 35 °C, мокрый 22 °C)	Когда выбирают
VRX	Центробежный, снизу, 1–6 шт., ременный привод	250–3500 кВт	Высокая мощность, холодный климат, установка у стены или в помещении, низкий шум
SVAX	Осевые 800–1200 мм, сверху, 1–12 шт., прямой привод	От 250 кВт; таблица каталога — до 3000 кВт у SVAX12	Мягкий и умеренный климат, гибкое регулирование, экономия электроэнергии

Серия	Вентилятор	Мощность по каталогу (R717, t к 35 °С, мокрый 22 °С)	Когда выбирают
VAX	Один осевой 2000–3000 мм, ременный привод, двигатель до 45 кВт	От 1 МВт	Большая единичная мощность
HRX	Центробежный, сбоку	До 1 МВт	Ограничения по высоте и шуму, тесное место

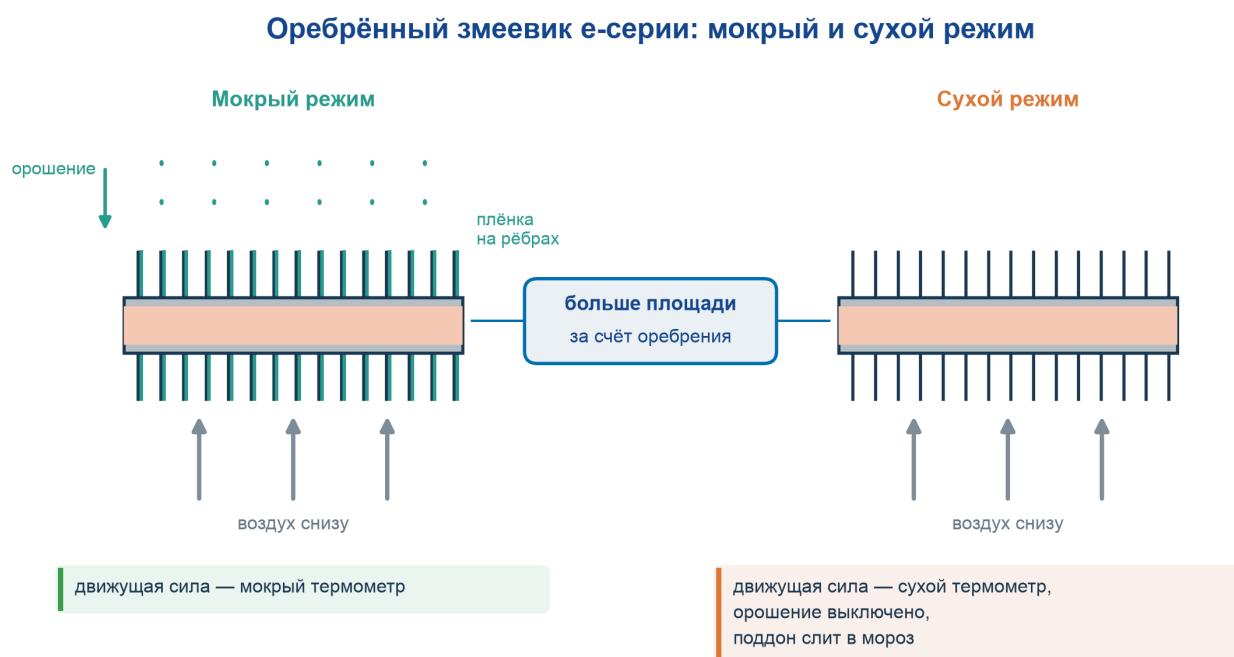
Габариты и массы — в каталоге. Пример: VRX1-4 — 3598 × 2360 × 4804 мм, сухая масса 6535 кг, расход воды на орошение 20 л/с. Данные справочные, для проекта — чертёж и лист подбора.

2.5. Исполнения е-: оребрённый змеевик

Приставка е- (е-VRX, е-VAX, е-HRX) означает оребрённый теплообменник: стальные рёбра навиваются на стальную трубу, прихватываются точечной сваркой, затем узел цинкуется горячим методом. Охлаждающие параметры — как у базовой серии. Что даёт оребрение:

- работу **без орошения начиная с 0 °С** — меньше подпитки, нет затрат на насос орошения и на круглогодичную защиту контура орошения;
- нет парения в холодный период;
- меньшие вес и размер аппарата при тех же параметрах и меньшую мощность двигателя вентилятора.

Рисунок 8 Оребрённый змеевик е-исполнения: мокрый режим летом, сухой — зимой



Есть и промежуточное решение для базовых серий — **сухопарник**: оребрённый теплообменник в верхней части аппарата, на потоке уходящего воздуха. Он снимает перегрев пара, снижает видимое парение и продлевает сухой режим.

2.6. Опции испарительных конденсаторов

- **Форконденсатор** — обязателен, если температура пара хладагента на входе выше 90 °С: снимает перегрев, уменьшает парение, повышает производительность в сухом режиме.
- **Резервный электродвигатель** в каждой секции VRX («горячий резерв» с автоматическим переключением); между секциями VRX3 и VRX4 оставляют 1,5–2 м для обслуживания.
- **Рентгенографический контроль** швов теплообменника, частичный или полный, с отметкой в паспорте.
- **Правое или левое исполнение** патрубков, насоса и двигателя (по умолчанию у VRX — слева, если смотреть на сторону забора воздуха); **выпуск из поддона вниз** — для выносной системы орошения с баком в помещении.
- **Система контроля качества воды** с дозированием ингибитора и биоцида по электропроводности, стартовый набор реагентов, датчик уровня в поддоне.
- **Сетка воздухозаборная** 2 × 2 мм против тополиного пуха и пыли — требует подбора с запасом не меньше 10 %; фильтр грубой очистки в поддоне с ячейкой 6 мм.
- **Щит управления** с частотным преобразователем или без: поддержание температуры (давления) конденсации, ротация вентиляторов по наработке, пуск насоса через сухой контакт. Частотный преобразователь вне щита — не дальше 50 м от конденсатора.

Чек-лист раздела 2: серия выбрана

- ☐ Для драйкулера выбрано исполнение (горизонтальное, вертикальное, V-образное) под место установки.
- ☐ Проверено, что воздух на выходе драйкулера не превысит +55 °С, а теплоноситель — +80 °С.
- ☐ Для адиабатики запрошены требования к воде и порог включения.
- ☐ Для АВО записаны тип, материал труб и рёбер, взрывозащита и климатическое исполнение.
- ☐ Серия ИК выбрана по мощности, климату, шуму и месту: VRX, SVAX, VAX или HRX.
- ☐ Решено, нужен ли сухой режим зимой: е-исполнение или сухопарник.
- ☐ Перегрев пара на входе ИК известен; выше 90 °С заложен форконденсатор.

Правило прохода: серия и ключевые опции должны стоять в опросном листе до запроса подбора, иначе лист подбора придётся переделывать.

3. Исходные данные

Подбор сухого или испарительного аппарата — это тепловой расчёт на одну точку: нагрузка, среда, температуры и климат. Ошибка в любой цифре даёт аппарат, который не держит режим в первое же жаркое лето, или лишние секции и вентиляторы. Ниже — что собрать и где взять.

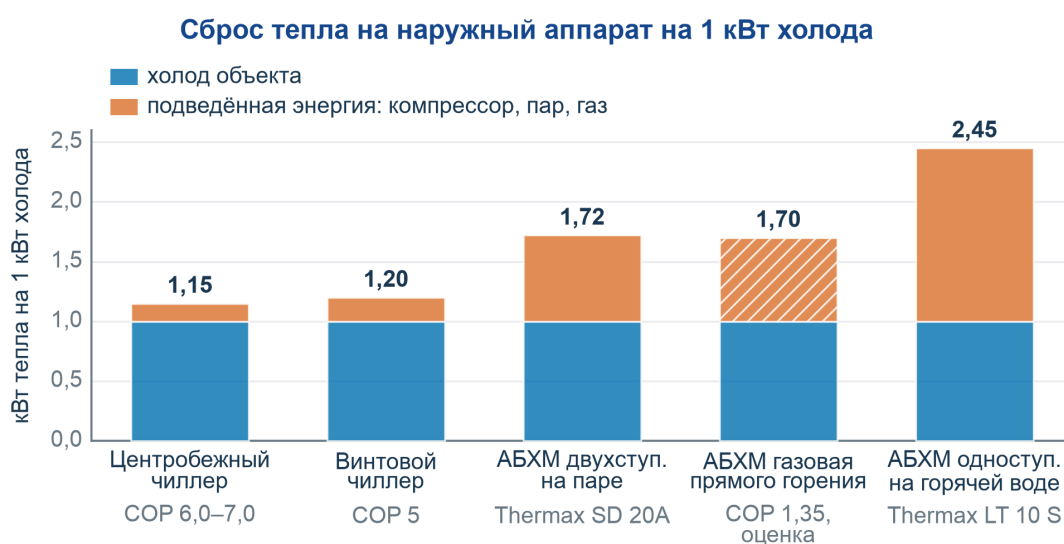
3.1. Тепловая нагрузка

Драйкулер и АВО на жидкости. Нагрузку задают расходом и температурами: $Q = G \times c \times (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})$. Для воды 1 м³/ч на 1 К перепада несёт 1,163 кВт.

Пример: контур конденсатора, вода 45 → 40 °С, нагрузка 500 кВт. Расход $G = 500 / (1,163 \times 5) = 86$ м³/ч. У раствора гликоля теплоёмкость ниже, чем у воды, поэтому на ту же нагрузку расход больше; поправки — в разделе 4. Опросный лист сухого охладителя просит **массовый** расход жидкости в кг/с: это снимает путаницу с плотностью раствора.

Конденсатор чиллера. На драйкулер идёт тепло конденсации: $Q_k = Q_o \times (1 + 1 / \text{COP})$. При COP 5 — 1,2 кВт на 1 кВт холода. Аппарат, подобранный «по холоду», окажется меньше нужного.

Рисунок 9 Сколько тепла уходит на наружный аппарат на 1 кВт холода у разных машин



Откуда цифры

Отношения АБХМ — пересчёт каталожных расходов и температур охлаждающей воды Thermax (1,163 кВт·ч на м³·К). В проекте сброс берут из подбора машины.

Испарительный конденсатор. Главная цифра — тепловая нагрузка на конденсатор, THR (total heat rejection). Если она неизвестна, опросный лист NCT позволяет дать холодопроизводительность, температуру кипения и тип компрессора, и производитель посчитает:

$$\text{THR} = Q_o \times (1 + 1 / \text{COP}) + Q_{\text{масла}} + Q_{\text{охладителя перегретого пара}}$$

Учебный пример: аммиачная установка $Q_o = 1000$ кВт, COP = 4. $Q_o \times (1 + 1/4) = 1250$ кВт — столько ИК должен отвести без учёта маслоохладителя и десуперхитера. Подбор «на 1000 кВт» дал бы аппарат на 20 % меньше нужного. В запросе всегда пишите, что стоит в цифре: холод или тепло конденсации.

Профиль нагрузки. Одной летней точки мало. Для фрикулинга, сухого режима ИК е-исполнения и выбора регулирования нужна нагрузка по сезонам: при половинной нагрузке зимой аппарат раньше уходит в сухой режим и дольше работает без компрессора.

3.2. Среда и температуры

Таблица 5 Что указать о среде для каждого аппарата

Среда	Аппарат	Что указать
Вода	Драйкулер	Расход, t вход и выход; для зимы — способ защиты от замерзания
Этиленгликоль, пропиленгликоль	Драйкулер, адиабатика	Тип и концентрация, %; t вход и выход; массовый расход
Масло, технологическая жидкость, газ	АВО	Наименование по техрегламенту, состав, плотность, вязкость, теплоёмкость, теплопроводность; фазовые переходы; H ₂ S, CO ₂ , Cl ₂ , влага; категория взрывоопасности, ПДК; рабочее, расчётное и пробное давление; допустимый перепад давления на аппарате
Аммиак R717, фреоны, пропан, бутан, CO ₂	Испарительный конденсатор	Хладагент; THR или Q ₀ + t кипения + компрессор; t конденсации или напор к мокрому термометру; перегрев пара на входе; требуемое переохлаждение

Ориентиры из опросного листа ИК NCT: переохлаждение жидкости обычно **2–5 К**; напор к мокрому термометру лист даёт как «обычно 5–10 К». Базовая каталожная точка — 35 °С при мокром 22 °С, то есть 13 К. Чем меньше напор, тем крупнее аппарат, поэтому задавайте его осознанно. Перегрев пара на входе обязателен: без него подбор выполняется на стандартных условиях, а при температуре пара выше 90 °С нужен форконденсатор (раздел 2.6).

Для хладагентов, кроме R717, расчёт ведут по коэффициентам на конкретный хладагент: R22, R134A, R290 (пропан), R407C, R410A, R507A, R600 (бутан); CO₂ и смеси — по индивидуальному расчёту.

ВНИМАНИЕ

Температура теплоносителя — не только про лето. Для драйкулера проверьте и обратную сторону: при горячей жидкости воздух на выходе не должен превышать +55 °С (раздел 2.1), а зимой концентрация гликоля должна соответствовать минимальной температуре площадки.

3.3. Климат: сухой и мокрый термометр

Расчётные параметры наружного воздуха берут для города объекта по СП 131.13330.2025 «Строительная климатология». Какой параметр нужен, зависит от аппарата:

- **драйкулер и АВО** — сухой термометр тёплого периода; для адиабатики дополнительно относительная влажность, потому что предел предохлаждения — мокрый термометр;
- **испарительный конденсатор** — мокрый термометр; сухой — по желанию, для сухого режима и проверки;
- **все аппараты** — минимальная зимняя температура, для гликоля, сухого режима и защиты от замерзания.

Готового столбца «мокрый термометр» в своде нет: его получают психрометрическим расчётом по температуре и влажности. Метод, пример и выбор обеспеченности с параллелью к ASHRAE — в руководстве ЭХ-АРМ002-RU, раздел 3.4. В технических данных испарительных конденсаторов NCT мокрый термометр входящего воздуха указан с обеспеченностью **0,98**. Если на объекте принята другая, напишите это в опросном листе.

ПРИМЕЧАНИЕ

Для драйкулера обеспеченность весит больше, чем для градирни. По мокрому термометру СП 131 и ASHRAE почти сходятся. По сухому расходятся заметно: для Москвы параметры Б тёплого периода (обеспеченность 0,98) — 26 °С, сухой термометр 0,4 % по ASHRAE — 29,9 °С, абсолютный максимум — 38 °С (ЭХ-АРМ003-RU, раздел 3.4). Драйкулер, подобранный на 26 °С, в волну жары уходит за расчётную точку. Для технологии, которая не имеет права остановиться, расчётную температуру задаёт технолог, и её записывают в задание вместе с тем, что происходит выше неё.

Ещё три поправки, о которых спрашивают опросные листы:

- **высота над уровнем моря** — для поправки на плотность воздуха;
- **пыль, песок, соль в воздухе** — для материала рёбер, покрытия и защитной сетки;
- **место установки** — климат по своду описывает наружный воздух, а не воздух на входе. На кровле аппарат получает воздух, нагретый покрытием и выбросом соседних машин. Поправку назначает проектировщик; правила размещения — в разделе 8.

3.4. Шум, место и ограничения

- **Шум.** Укажите предельный уровень звука в дБА и расстояние, на котором он нормируется (опросный лист АВО — на 15 м). Таблицу уровней звука по октавным полосам выдаём по запросу. Снижают шум частотным регулированием вентиляторов, выбором серии (VRX и HRX с низ-кооборотными центробежными вентиляторами), шумоглушителями и экраном по периметру драйкулера.
- **Габариты и масса.** Ограничения $D \times Ш \times В$ и допустимая масса на фундамент или кровлю. Для ИК считайте рабочую массу с водой в поддоне, а не сухую.
- **Место.** Открытая площадка, кровля, помещение или навес. ИК VRX, VAX и SVAX допускают установку в помещении (у осевых серий — с воздуховодом на выходе); это решение для Крайнего Севера.
- **Обслуживание.** Доступ со всех сторон или ограниченный; подъезд крана и ремонтная зона.
- **Сейсмика.** Сейсмичность района в баллах — для АВО по шкале MSK-64; для ИК — отметка о сейсмостойком исполнении.
- **Замена существующего аппарата.** Марка, год выпуска, причина замены и фотография — опросный лист АВО требует её обязательно. Для ИК добавьте схему обвязки по хладагенту.

3.5. Электропитание

Нужны напряжение, частота и число фаз; для АВО — один из вариантов 380, 400 или 690 В 50 Гц и допустимая установленная мощность на один аппарат. Дальше — класс защиты двигателей (IP54, IP55 или IP65), частотное регулирование вентиляторов и место щита. Щит управления драйкулера по ТКП ставят в помещении с регулируемым климатом.

Для аммиачных и углеводородных установок решите вопрос взрывозащиты сразу: опросный лист ИК предлагает исполнения Ex d и Ex e, опросный лист АВО — взрывозащиту вентиляторов и электрооборудования с указанием категории. Поменять исполнение двигателей после подбора — значит переделывать подбор и спецификацию.

3.6. Опросные листы: что в них критично

У каждого аппарата свой опросный лист. Пустые поля в нём не равны «по умолчанию»: где данных нет, подбор идёт на стандартные условия, и это потом всплывает в эксплуатации.

Восемь вопросов холодильщику до подбора ИК

1  R717 Хладагент	2  кВт Qк или Qо + N
3  t конденсации	4  Перегрев на входе
5  Город, СП 131	6  Отметки ИК и ресивера
7  Вода и сброс	8  ОПО, взрывозащита, шум, зима

Замена импортного ИК: размеры, фото, схема обвязки, воздухоотделитель

Таблица 6 Критичные поля опросных листов

Опросный лист	Без чего подбор не начинаем	Что чаще всего забывают
Сухой охладитель (драйкулер)	Мощность, город, хладоноситель и концентрация, массовый расход, t вход и выход жидкости, t и влажность воздуха	Опции: щит и защита, частотный преобразователь, ремонтные выключатели, запорная арматура на теплообменник, шумозащитный экран
АВО	Назначение (газ, жидкость, конденсация), свойства среды, давления рабочее и расчётное, расход, t вход и выход, допустимый перепад давления, климат лета и зимы	Запас работоспособности (лист рекомендует 15–30 %), коррозионные компоненты, взрывозащита, шум на 15 м, фото заменяемого аппарата
Испарительный конденсатор (в том числе на R717)	THR или Qо + t кипения + компрессор, t конденсации или напор, перегрев на входе, мокрый термометр, минимальная зимняя температура	Жёсткость и pH воды, десуперхитер и форконденсатор, защита от замерзания (подогрев, циркуляция, слив), интерфейс связи

Вода для орошения ИК. Опросный лист аммиачного конденсатора даёт рекомендуемые пределы: общая жёсткость **меньше 3 мг-экв/л**, pH **6,5–8,5**. Если вода хуже или анализа нет, отметьте «требуется рекомендация по водоподготовке» — контур орошения разбирается в разделе 7.

Подпись под исходными данными. Все три листа подписывает лицо, ответственное за исходные данные, а лист АВО прямо говорит, что за достоверность свойств газа отвечает заказчик. Это не формальность: подбор гарантирует результат только на тех цифрах, которые в листе стоят.

Чек-лист раздела 3: исходные данные собраны

- ☐ Нагрузка задана в нужной величине: тепло конденсации или THR, а не холод; есть профиль по сезонам.
- ☐ Среда описана полностью: тип и концентрация гликоля, свойства и давления технологической среды или хладагент с перегревом и переохлаждением.

- ☐ Климат взят по СП 131.13330.2025 для площадки: сухой термометр для драйкулера и АВО, мокрый для ИК, влажность для адиабатики, зимний минимум для всех; обеспеченность записана.
- ☐ Учтены высота над уровнем моря, пыль и соль в воздухе, место установки.
- ☐ Записаны ограничения по шуму с расстоянием, по габаритам и массе, по доступу для обслуживания.
- ☐ Определены напряжение, класс защиты двигателей и взрывозащита.
- ☐ Для ИК есть анализ воды или запрошена рекомендация по водоподготовке.
- ☐ Опросный лист заполнен полностью и подписан ответственным за исходные данные.

Правило прохода: пустое поле в опросном листе — это допущение производителя, а не ваше решение. Либо заполните его, либо запишите в задании, что принято по умолчанию.

4. Расчёты с примерами

Расчёт сухого охладителя, драйкулера (dry cooler), и испарительного конденсатора уместается в несколько формул. Ошибаются не в формулах, а в исходной точке: подбирают аппарат на холод вместо тепла, на сухой термометр «по региону» вместо расчётного, на воду вместо гликоля. Ниже — порядок расчёта и три сквозных примера:

- **пример 1** — драйкулер на гликоле для водяного чиллера, Москва (разделы 4.1–4.5);
- **пример 2** — драйкулер для горячей технологической жидкости (раздел 4.4);
- **пример 3** — испарительные конденсаторы аммиачной установки по реальному подбору (раздел 4.6).

Везде: 1 м³/ч воды на 1 К перепада несёт **1,163 кВт**; теплоёмкость воздуха 1,005 кДж/(кг·К), плотность воздуха при 30 °С около 1,16 кг/м³; теплота испарения воды около 2430 кДж/кг. Рабочие цифры для проекта — всегда из листа подбора конкретной модели.

4.1. Тепловой баланс и расход жидкости

Тепло на драйкулер. Если за драйкулером стоит чиллер, наружу уходит не холод объекта, а тепло конденсации:

$$Q_k = Q_o + P = Q_o \cdot (1 + 1/\text{COP}),$$

где Q_o — холодопроизводительность, P — потребляемая мощность компрессоров, COP — холодильный коэффициент. Если драйкулер охлаждает технологию напрямую, Q — это тепло, которое снимают с оборудования.

У чиллера с драйкулером конденсация горячее, чем у машины на воде градирни, поэтому COP ниже и тепла на киловатт холода больше. Ориентир по каталогу NCT: у машины с воздушным конденсатором NARV 95 конденсатор отдаёт 430,6 кВт на 332 кВт холода, то есть **1,30 кВт на 1 кВт**. У машины на воде градирни (NWCV 65-1) — 1,16. Для гликоля 40/45 °С берите отношение из подбора чиллера на эти температуры.

Расход жидкости:

$$G = Q / (\rho \cdot c \cdot \Delta t), \text{ для воды } G = Q / (1,163 \cdot \Delta t).$$

Пример 1, шаг 1: тепло и расход. Чиллер водяного охлаждения, холод 1000 кВт, гликолевый контур конденсатора 45 → 40 °С (типовой режим наших схем), этиленгликоль 40 %. Свойства раствора для показа метода примем $c = 3,6$ кДж/(кг·К), $\rho = 1050$ кг/м³; в проекте их берут из паспорта раствора.

1. Тепло на драйкулер: $Q_k = 1000 \times 1,30 = \mathbf{1300 \text{ кВт}}$. 2. Расход гликоля: $G = 1300 / (1050 \times 3,6 \times 5) \times 3600 = \mathbf{247,6 \text{ м}^3/\text{ч}}$. 3. Для сравнения на воде: $G = 1300 / (1,163 \times 5) = 223,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Гликоля нужно на **11 %** больше.

Итог. Драйкулер подбирают на 1300 кВт и 247,6 м³/ч раствора, а не на 1000 кВт холода. Насосы и трубы — тоже на расход раствора.

ВНИМАНИЕ

Подбор «по холоду» — самая частая ошибка. Аппарат на 1000 кВт вместо 1300 кВт недодаст почти четверть тепла. В опросном листе пишите тепловую нагрузку на драйкулер и откуда она взята: из подбора чиллера на ваш режим.

4.2. Недоохлаждение до сухого термометра: почему его нельзя сделать малым

Драйкулер охлаждает жидкость только воздухом, через стенку трубки и ребро. Ниже температуры наружного воздуха по сухому термометру (dry-bulb temperature) он жидкость не охладит. Разница между жидкостью на выходе и воздухом на входе — недоохлаждение (approach).

Сколько закладывать. По нашим материалам драйкулер применяют, когда жидкость нужна на **3–5 °С и более** теплее наружного воздуха. По данным отраслевой практики экономически оправданный драйкулер выдаёт жидкость на **5,6–11 К** теплее воздуха; ближе, на 2,8–5,6 К, — только с сильно увеличенным теплообменником.

Почему малое недоохлаждение дорого. Тепло через теплообменник: $Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}$, где Δt_{cp} — средний логарифмический температурный напор. Когда жидкость на выходе приближается к воздуху на входе, напор стремится к нулю, а площадь F — к бесконечности.

Пример 1, шаг 2: что стоит каждый кельвин. Гликоль $45 \rightarrow 40$ °С, нагрузка и расход воздуха постоянные, воздух в аппарате нагревается на 8 К. Схема упрощённо противоточная; реальный аппарат перекрёстноточный, его считает программа подбора, но направление то же.

Таблица 7 Недоохлаждение драйкулера и нужная площадь теплообмена

Воздух на входе, °С	Недоохлаждение, К	Напоры на концах, К	Δt_{cp} , К	Площадь, доля от варианта 30 °С
26	14	11 и 14	12,4	0,68
30	10	7 и 10	8,4	1,00
34	6	3 и 6	4,3	1,94
36	4	1 и 4	2,2	3,89

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_b - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_b / \Delta t_m).$$

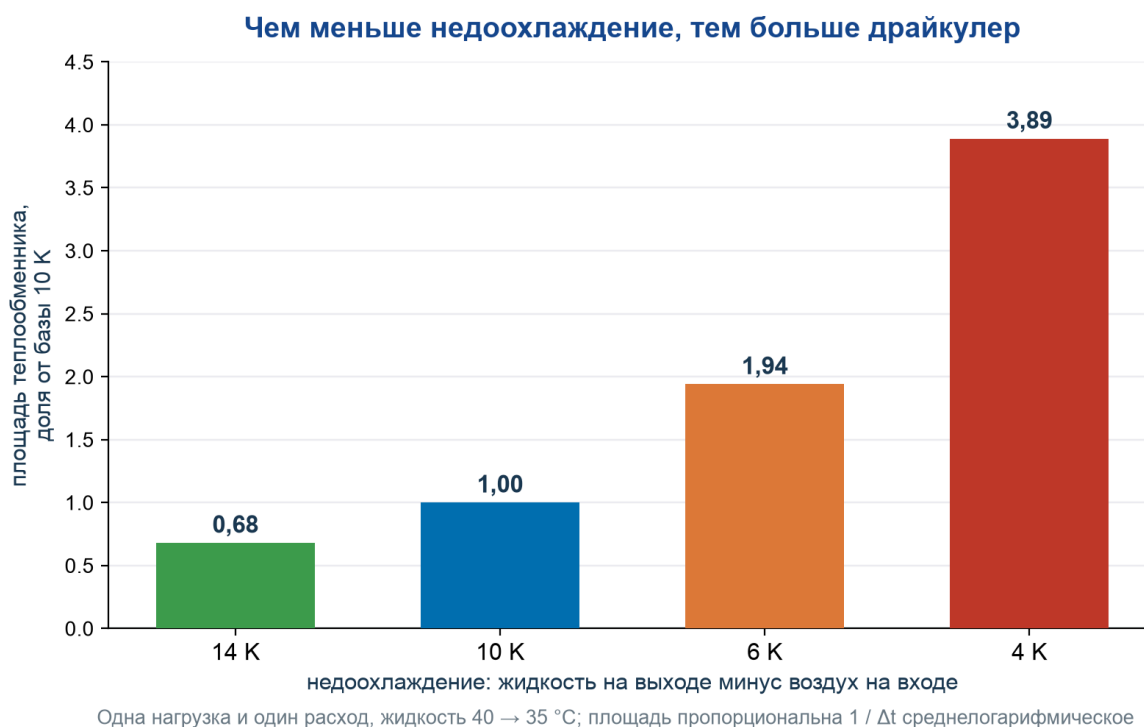
Вывод. Уменьшить недоохлаждение с 10 до 6 К — почти вдвое больше теплообменника, до 4 К — вчетверо. Поэтому драйкулер не обещают «на 2 градуса выше улицы»: такой аппарат либо огромен, либо не держит режим.

Какой воздух брать. Для Москвы параметры Б по СП 131.13330 — 26 °С, сухой термометр обеспеченностью 0,4 % по ASHRAE — 29,9 °С, абсолютный максимум — 38 °С. Разница между 26 и 30 °С в таблице выше — треть площади. Для комфортного кондиционирования обычно хватает параметров Б; для технологии, которая не имеет права остановиться, расчётную температуру задаёт технолог, и часто это абсолютный максимум.

ВНИМАНИЕ

В жару выше расчётной жидкость теплеет вместе с воздухом. Грубо недоохлаждение при той же нагрузке сохраняется: драйкулер, подобранный на 40 °С при 30 °С, при 38 °С отдаст гликоль около 48 °С. Чиллер должен это выдержать по давлению конденсации — проверьте его подбор на эту точку или заложите адиабатику (раздел 4.5).

Рисунок 11 Чем ближе жидкость к температуре воздуха, тем быстрее растёт площадь драйкулера: 10 К — база, 6 К — вдвое, 4 К — вчетверо



4.3. Поправки на гликоль

Зимой драйкулер стоит на улице, поэтому в нём почти всегда раствор гликоля. По нашим предложениям теплообменник драйкулера NCT работает с жидкостью от –35 до +80 °С, и жидкость подбирают под температуру окружающего воздуха. Гликоль меняет расчёт в трёх местах.

1. Расход. Произведение $\rho \cdot c$ у раствора меньше, чем у воды: в примере 1 — 3,78 против 4,19 МДж/(м³·К). На то же тепло расход растёт на 11 % (раздел 4.1).

2. Мощность аппарата. Раствор вязче воды, течение в трубках менее турбулентное, теплоотдача изнутри падает. У драйкулера главное сопротивление — со стороны воздуха, на рёбрах, поэтому потеря меньше, чем у водо-водяного теплообменника. Но при малой скорости в трубках раствор переходит в ламинарный режим, и теплоотдача изнутри проваливается. Поправку считает программа подбора — для этого в опросном листе обязательны тип гликоля и концентрация.

3. Потери давления. Растут от большего расхода (квадратично) и от вязкости.

Ориентир по данным производителей чиллеров для испарителя при 7 °С на выходе: этиленгликоль 40 % — мощность **0,94** от водяной, перепад давления **1,51** от водяного; пропиленгликоль 40 % — 0,90 и 1,53. В тёплом контуре конденсатора (40–45 °С) вязкость ниже и поправки меньше, поэтому для драйкулера эти цифры — верхняя оценка.

Пример 1, шаг 3: что гликоль делает с насосом. Допустим, контур драйкулера на воде теряет 200 кПа (условно; в проекте — гидравлический расчёт), КПД насоса 0,75.

1. Вода: $N = (223,6 / 3600) \times 200 / 0,75 = \mathbf{16,6 \text{ кВт}}$. 2. Перепад на гликоле, верхняя оценка: $1,107^2 \times 1,51 = 1,85$ от водяного, то есть 370 кПа. 3. Гликоль: $N = (247,6 / 3600) \times 370 / 0,75 = \mathbf{33,9 \text{ кВт}}$.

Итог. В верхней оценке насос на гликоле вдвое мощнее водяного. Реальная цифра при 40–45 °С меньше, но порядок показывает, почему концентрацию берут минимально достаточной, а не «пятьдесят на всякий случай».

Как выбрать концентрацию. По температуре замерзания: этиленгликоль 40 % — около -23°C , пропиленгликоль 40 % — около -22°C (по данным производителей). Для Москвы холодная пятидневка -26°C , абсолютный минимум -43°C . Значит, 40 % защищает контур, пока он работает и греется нагрузкой, а в простое в сильный мороз начнётся шуга. Если драйкулер зимой может стоять с жидкостью, концентрацию берут по таблице изготовителя раствора на минимум площадки или закладывают слив (раздел 7). В проекте пишут, от чего защищает выбранная концентрация.

Рисунок 12 Поправка на гликоль в пять шагов: расход, поверхность, насос, затраты на перекачку



ПРИМЕЧАНИЕ

Поправки — один раз. Программа подбора уже учла гликоль в площади аппарата. Не добавляйте сверху свой процент «на гликоль»: запас, заложенный дважды, превращается в лишний типоразмер и вентиляторы, которые всю зиму работают на малых оборотах.

4.4. Расход воздуха и мощность вентиляторов

Всё тепло драйкулера уходит нагревом воздуха:

$Q = m_v \cdot c_v \cdot (t_{v.вых} - t_{v.вх})$, m_v — массовый расход воздуха, кг/с.

Пример 1, шаг 4: сколько воздуха. $Q = 1300$ кВт, воздух на входе 30°C .

Таблица 8 Расход воздуха драйкулера на 1300 кВт при разном нагреве воздуха

Нагрев воздуха, К	Воздух на выходе, $^{\circ}\text{C}$	Расход, кг/с	Расход, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$
6	36	215,6	669
8	38	161,7	502
10	40	129,4	401

Меньше воздуха — меньше вентиляторов, но горячее воздух на выходе и меньше напор в тёплом конце теплообменника (раздел 4.2), значит, больше площадь. Баланс между площадью и воздухом

ищет программа подбора. Проектировщику из этой таблицы важно другое: полмиллиона кубометров в час должны свободно подойти к аппарату и уйти от него, не возвращаясь на вход (раздел 8).

Предел по горячему воздуху. По нашим предложениям вентиляторы драйкулера NCT работают при наружном воздухе от -35 до $+55$ °С, и **воздух на выходе из теплообменника выше $+55$ °С может вывести вентиляторы из строя.** Для гликоля $40/45$ °С это не угроза, а для горячей технологии — первая проверка.

Пример 2: горячая жидкость. Драйкулер охлаждает технологическую жидкость $70 \rightarrow 60$ °С, тепло 500 кВт; подобран на воздух 30 °С с нагревом воздуха 25 К.

1. Расход воздуха: $500 / (1,005 \times 25) = 19,9$ кг/с. Воздух на выходе — 55 °С, ровно на пределе. 2. В жару 38 °С при том же воздухе и той же нагрузке: $38 + 25 = 63$ °С на выходе — выше допустимого. 3. Чтобы при 38 °С уложиться в 55 °С, нагрев воздуха — не больше 17 К: $500 / (1,005 \times 17) = 29,3$ кг/с, на 47 % больше воздуха.

Итог. Для жидкостей 60–70 °С проверяют температуру воздуха на выходе при максимальной температуре площадки, а не только при расчётной. Отсюда же ограничение для частотного регулирования: на пониженных оборотах воздух нагревается сильнее, поэтому минимальную скорость вентиляторов на горячей технологии задают по температуре воздуха на выходе. Жидкость при этом не должна быть горячее $+80$ °С — предела теплообменника.

Мощность вентиляторов. Установленную мощность даёт лист подбора. Для года важнее, как вентиляторы регулируются. Мощность вентилятора пропорциональна кубу скорости, а расход воздуха — первой степени:

Таблица 9 Скорость вентилятора, расход воздуха и потребляемая мощность

Скорость, %	Воздух, %	Мощность, %
100	100	100
80	80	51
60	60	22
50	50	13
30	30	3

Пример 1, шаг 5: частотное регулирование. Установленная мощность вентиляторов 24 кВт (условно, подставьте из подбора), работа 8000 ч/год, в среднем нужно 60 % воздуха.

1. Регулирование включением и выключением вентиляторов: $24 \times 0,6 = 14,4$ кВт в среднем. 2. Все вентиляторы на 60 % скорости: $24 \times 0,6^3 = 5,2$ кВт, плюс 10 % на потери в преобразователе — **5,7 кВт.** 3. Экономия: $(14,4 - 5,7) \times 8000 \approx 70$ тыс. кВт·ч в год, около 60 % энергии вентиляторов.

По опыту эксплуатации наших драйкулеров плавное регулирование экономит до 30–50 % против постоянной работы на максимуме: в реальном году много часов на высокой скорости, а закон куба выполняется не точно. Оба числа говорят одно: частотный преобразователь на драйкулере, который работает круглый год, окупается энергией. Ещё один выигрыш — шум: ночью и зимой вентиляторы идут на малых оборотах.

Регулятор скорости вращения вентиляторов, датчики температуры на каждый контур и щит управления входят в типовую комплектацию наших предложений; частотный преобразователь — опция опросного листа. Ограничения для задания на автоматику (минимальная скорость, число пусков, порядок включения) — раздел 9.

4.5. Адиабатическое предохлаждение: на сколько падает воздух и сколько нужно воды

Адиабатический драйкулер (adiabatic cooler) в жару распыляет воду в воздух перед теплообменником. Часть тепла воздуха уходит на испарение капель, воздух холодеет и приближается к температуре мокрого термометра (wet-bulb temperature). Жидкость в трубках с водой не контактирует, контур остаётся замкнутым. У драйкулеров NCT схема высоконапорная: вода через форсунки распыляется в мелкий туман, который испаряется до теплообменника, и оребрение остаётся сухим.

На сколько падает воздух. По нашим предложениям — на 5–15 °С в зависимости от климата. Предел — мокрый термометр:

$$\Delta t_{\text{max}} = t_{\text{c}} - t_{\text{м.}}$$

Для Москвы в расчётный жаркий час (ASHRAE, 0,4 %): 29,9 – 22,1 = 7,8 К, реально меньше. Нижняя граница наших предложений, 5 К, для Москвы реалистична; 15 К — это сухой жаркий юг.

Сколько воды. Вода на испарение равна теплу, которое отдал воздух, делённому на теплоту испарения:

$$W = m_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{ад}} / r.$$

Пример 1, шаг 6: адиабатика в Москве. Воздух 161,7 кг/с (раздел 4.4), охлаждение воздуха 5 К: с 30 до 25 °С.

1. Вода: $W = 161,7 \times 1,005 \times 5 / 2430 = 0,33 \text{ кг/с}$, то есть 1,2 м³/ч в пиковый час. 2. Что это даёт: при прежнем недоохлаждении 10 К гликоль выходит около 35 °С вместо 40 °С, конденсация у чиллера опускается примерно на 5 К. 3. Прирост потребления компрессора по данным производителей — 1,8–4,0 % на 1 К конденсации; берём 3 %. Компрессоры в примере — 300 кВт (1300 – 1000). Снижение: $300 \times 0,03 \times 5 = 45 \text{ кВт}$ в жаркий час. 4. Сколько таких часов: сухой термометр выше 28 °С в Москве — около 88 часов в год (обеспеченность 1 % по ASHRAE). Если включать адиабатику только выше этого порога, вода за год — не больше $88 \times 1,2 \approx 106 \text{ м}^3$.

Для сравнения. Испарительная градирня на те же 1300 кВт испаряет до 2,0 м³/ч и работает с водой тысячи часов в году, плюс продувка. Адиабатика тратит воду только в жаркие часы и только на испарение.

Итог. В климате Москвы и Петербурга адиабатика покупает не годовую экономию энергии, а мощность и запас в самые жаркие часы. Производитель называет снижение суммарного энергопотребления системы на пиковых режимах до 30 %. Как этим пользоваться в схеме — раздел 5.4; годовой баланс в киловатт-часах для чиллеров — в руководстве ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 7.5.

ВНИМАНИЕ

Параметры воды для форсунок — из паспорта. Требований к жёсткости, фильтрации, давлению и расходу воды на форсунки в наших предложениях нет. Их берут из паспорта адиабатической системы и запрашивают у завода вместе с подбором. Соли из плохой воды оседают на рёбрах — это прямая потеря мощности.

4.6. Испарительный конденсатор: тепло конденсации и вода орошения

Испарительный конденсатор, ИК (evaporative condenser), конденсирует хладагент в змеевике, который снаружи орошается водой и обдувается воздухом. Он работает от мокрого термометра, как градирня, и поэтому держит конденсацию ниже, чем воздушный конденсатор.

Тепло конденсации. Главная ошибка — подбор по холодопроизводительности. Опросный лист NCT задаёт полную формулу тепловой нагрузки на конденсатор (THR, total heat of rejection):

$$\text{THR} = Q_o \cdot (1 + 1/\text{COP}) + Q_{\text{масла}} + Q_{\text{охладителя перегретого пара}}.$$

Тепло масла входит, если маслоохладители отдают его в конденсатор (например, термосифонные на аммиаке). Если THR неизвестен, в опросном листе дают холодопроизводительность, температуру кипения и модель компрессора — завод посчитает сам.

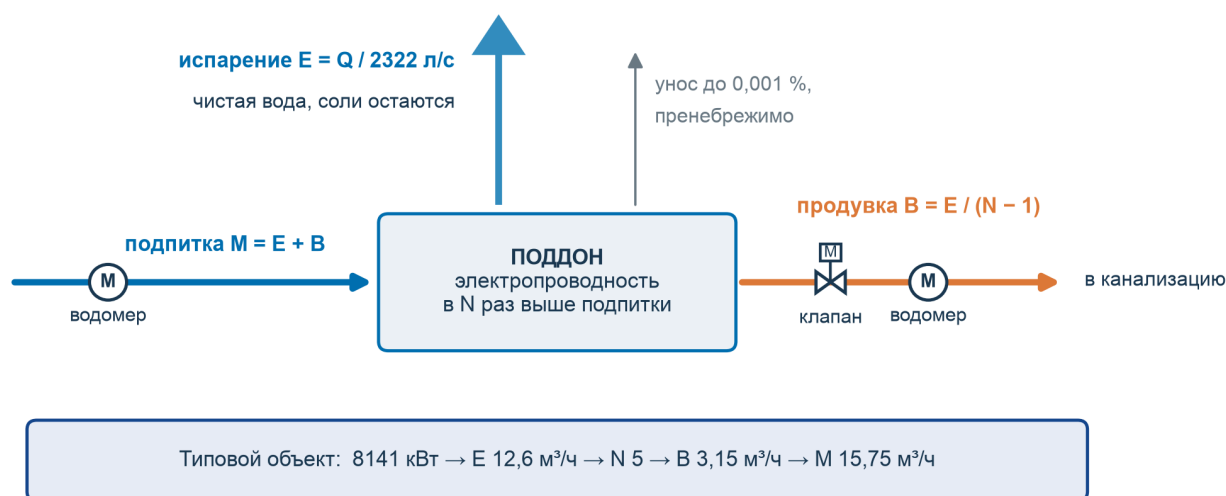
Базовая точка каталога NCT: R717, температура конденсации 35 °С, мокрый термометр 22 °С, наружный воздух 31 °С, влажность 44 %. Разница $t_k - t_m = 13 \text{ К}$ — аналог недоохлаждения для ИК. Чем она меньше, тем крупнее аппарат, по той же логике, что в разделе 4.2. По нашим данным ИК держит $t_k = 35 \text{ °С}$ при +31 °С на улице и 40 °С при +35 °С. Воздушный конденсатор в ту же жару уходит на 5–8 К выше расчётной температуры конденсации и теряет 10–18 % производительности.

Пример 3: аммиачная установка пищевого завода (реальный подбор). Три уровня кипения: –33, –7 и –1 °С, суммарный холод **2512 кВт**. Подобраны два ИК NCT VRX2-5 на расчётные параметры: R717, $t_k = 35 \text{ °С}$, мокрый термометр 22 °С обеспеченностью 98 %.

1. Тепло конденсации: $2 \times 1630 = \mathbf{3260 \text{ кВт}}$. 2. Проверка баланса: $3260 / 2512 = \mathbf{1,30}$. Разница 748 кВт — мощность компрессоров и тепло термосифонного охлаждения масла. 3. Испарение на один ИК: $1630 / 2430 = \mathbf{0,67 \text{ кг/с}}$. Ровно столько стоит в листе подбора как «расход подпиточной воды». Это испарение; продувку и унос проектировщик добавляет сам, если в листе не сказано иное. 4. Верхняя оценка испарения по данным производителей ($E [\text{л/с}] = Q [\text{кВт}] / 2322$, летний максимум): $1630 / 2322 = 0,70 \text{ л/с}$. Для водопровода берите её. 5. На два ИК: испарение $2 \times 0,67 \times 3,6 = \mathbf{4,83 \text{ м}^3/\text{ч}}$. 6. Продувка при 5 циклах упаривания: $B = E / (N - 1) = 4,83 / 4 = \mathbf{1,21 \text{ м}^3/\text{ч}}$. Число циклов задаёт качество подпиточной воды (раздел 7). 7. Капельный унос. Расход воды на орошение VRX2-5 по каталогу — 25,9 л/с, на два ИК 186,5 м³/ч. Унос у NCT — 0,0005–0,002 % расхода орошения: при 0,002 % это **3,7 л/ч**, им можно пренебречь. У аппаратов без каплеуловителей (0,10–0,20 %) было бы 0,19–0,37 м³/ч — до трети продувки. 8. Подпитка: $M = E + B + D = 4,83 + 1,21 + 0,004 \approx \mathbf{6,0 \text{ м}^3/\text{ч}}$, в пиковые сутки около **145 м³**. 9. Электричество: на каждый ИК вентилятор 45 кВт и насос орошения 4 кВт, всего 98 кВт — **3 %** от тепла конденсации.

Итог для проекта. Водопровод и водоподготовку считают на 6 м³/ч подпитки в пике, канализацию — на 1,2 м³/ч продувки плюс опорожнение поддонов. Максимальное рабочее давление по хладагенту в этом проекте — 1,5 МПа: обвязка ИК — это оборудование под давлением, а не водяной контур.

Рисунок 13 Водный баланс контура орошения: испарение, продувка, унос и подпитка



ПРИМЕЧАНИЕ

Перегрев на входе. При подборе ИК указывают температуру пара на нагнетании: без неё подбор выполняют на стандартных условиях. Если пар горячее 90 °С, применяют форконденсатор (раздел 5.7). В примере 3 пар до 89 °С — на границе правила.

Сухой режим ИК. Конденсаторы NCT могут работать без орошения, но мощность в этом режиме намного ниже, и параметры даёт только завод. В примере 3 подачу воды на орошение прекращают при наружной температуре ниже –5 °С. Оребрённые е-серии работают без орошения начиная с 0 °С — меньше подпитки и энергии насоса орошения за год. Чем ниже нагрузка зимой, тем раньше аппарат справляется сухим, поэтому в опросный лист дают нагрузку по сезонам, а не одну летнюю точку.

4.7. Сводка примера 1

Таблица 10 Пример 1: драйкулер для водяного чиллера 1000 кВт, Москва

Величина	Значение	Откуда
Тепло на драйкулер	1300 кВт	1000 кВт × 1,30
Гликоль, режим	этиленгликоль 40 %, 45 → 40 °С	типовой режим схем
Расход раствора	247,6 м³/ч (+11 % к воде)	раздел 4.1
Воздух, расчётный	30 °С, недоохлаждение 10 К	раздел 4.2
Расход воздуха	около 500 тыс. м³/ч при нагреве 8 К	раздел 4.4
Насос, верхняя оценка	33,9 кВт против 16,6 кВт на воде	раздел 4.3
Вентиляторы с частотным приводом	около 70 тыс. кВт·ч в год экономии	раздел 4.4, условные 24 кВт
Адиабатика, 5 К	1,2 м³/ч воды, –45 кВт на компрессорах в жаркий час	раздел 4.5

Чек-лист раздела 4: расчёты выполнены

- ☐ Драйкулер и ИК подобраны на тепло конденсации или тепло технологии, а не на холод; источник цифры записан.
- ☐ Расчётная температура воздуха (сухой термометр для драйкулера, мокрый для ИК) взята для площадки и согласована с технологом.
- ☐ Недоохлаждение драйкулера не меньше 5 К; поведение в жару выше расчётной проверено.
- ☐ Тип и концентрация гликоля выбраны по минимальной температуре площадки; расход и насос посчитаны на раствор.
- ☐ Для горячих жидкостей проверено: воздух на выходе не выше +55 °С при максимальной температуре площадки, жидкость не выше +80 °С.
- ☐ Энергия вентиляторов посчитана с учётом частотного регулирования.
- ☐ Для адиабатики и ИК посчитаны вода в пиковый час и за год, продувка и подпитка.
- ☐ Рабочие цифры сверены с листом подбора конкретной модели.

Правило прохода: нет цифры тепла с источником и нет проверки на максимальную температуру площадки — расчёт в проект не идёт.

5. Схемы включения

Драйкулер и испарительный конденсатор сами по себе просты. Сложность в том, куда их включить: на конденсатор чиллера, на технологию, на свободное охлаждение, в аммиачную установку. Ниже — типовые схемы и что каждая требует от проекта. Обвязка узлов элемент за элементом — раздел 6, зима — раздел 7, автоматика — раздел 9.

5.1. Драйкулер на конденсаторе водяного чиллера

Чиллер водяного охлаждения стоит в помещении, тепло конденсации уходит жидкостью к драйкулеру на улице. Воды на улице нет: ни подпитки, ни продувки, ни водоподготовки. Цена — более тёплая жидкость к конденсатору (раздел 4.2). Есть два способа подключения.

А. Гликоль прямо через конденсатор. Один контур: конденсатор — насосы — драйкулер. Самая низкая конденсация из двух вариантов: нет лишнего теплообменника. Условие — конденсатор и вся арматура допускают гликоль, а объём раствора в контуре разумный.

Б. Через пластинчатый теплообменник. Конденсатор работает на воде во внутреннем контуре, гликоль остаётся только в наружном контуре с драйкулером. Промежуточный теплообменник добавляет **2–4 К** к температуре жидкости на конденсаторе. При ориентире 3 % мощности компрессора на 1 К это 6–12 % лишней энергии компрессоров в каждый жаркий час, плюс второй насос, второй бак и вторая подпитка.

Когда оправдан вариант Б:

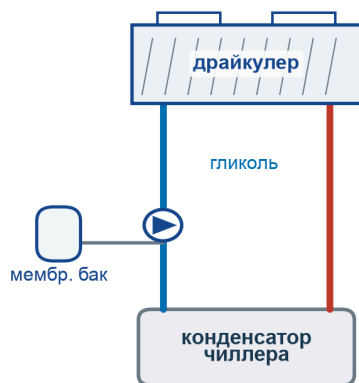
- трасса до драйкулера длинная, и заполнять гликолем весь объём дорого;
- изготовитель машины не допускает гликоль в конденсаторе или требует для него отдельного подбора;
- тот же теплообменник зимой нужен для свободного охлаждения (раздел 5.2).

Если ни одного из этих условий нет, берите вариант А.

Рисунок 14 Драйкулер на конденсаторе чиллера: гликоль прямо через конденсатор или через пластинчатый теплообменник (+2–4 К, второй насос, бак и подпитка)

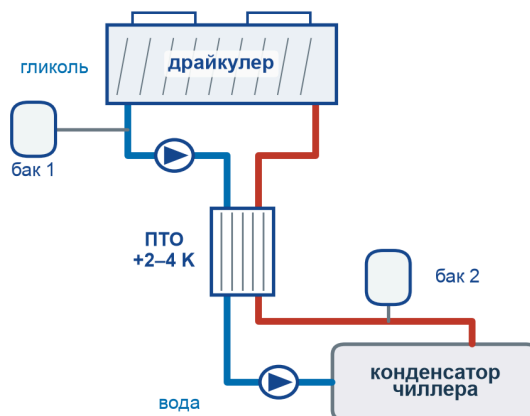
Драйкулер на конденсаторе чиллера: два варианта

А. Гликоль прямо через конденсатор



Один контур, самая низкая температура конденсации. Условие: конденсатор допускает гликоль.

Б. Через пластинчатый теплообменник



Гликоль только снаружи. Платите 2–4 К на конденсации, второй насос, бак и подпитку.

Что на схеме варианта А. Типовой режим — холодная вода 7/12 °С, гликоль 45/40 °С.

Рисунок 15 Чиллер водяного охлаждения NCT с драйкулером NCT: гликолевый контур конденсатора 40/45 °С со своим баком и подпиткой раствором

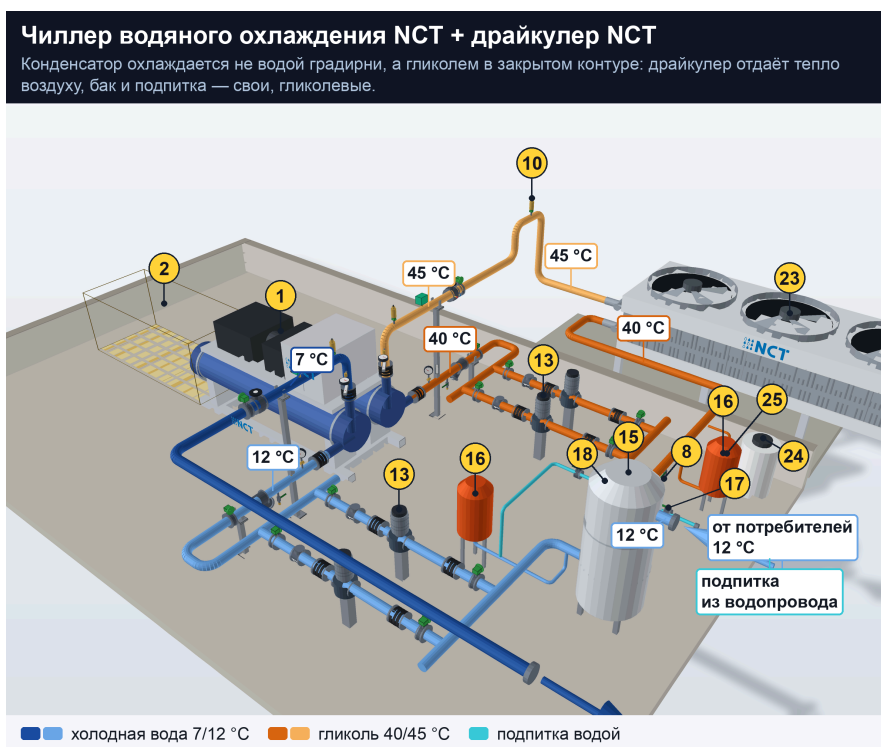


Таблица 11 Расшифровка номеров: чиллер и драйкулер

№	Элемент	Что важно для проекта
1	Чиллер NCT водяного охлаждения	конденсатор отдаёт тепло гликолю, а не воде градирни

№	Элемент	Что важно для проекта
8	Дренажный кран	в нижней точке; гликоль сливают в тару, не в канализацию
10	Автоматический воздухоотводчик	в самой верхней точке подъёма к драйкулеру
11	Реле протока	нет расхода — запрет пуска машины; прямые участки не меньше 5 Ду
13	Насос ин-лайн	рабочий и резервный, свои у гликолевого контура
16	Мембранный расширительный бак	у каждого контура свой; гликолевый считают на расширение раствора
23	Драйкулер NCT	остужает гликоль воздухом через оребрённые трубки
24	Бак с готовым раствором	подпитка только раствором: водой нельзя, концентрация упадёт
25	Насос подпитки с обратным клапаном	дожимает раствор в контур до рабочего давления

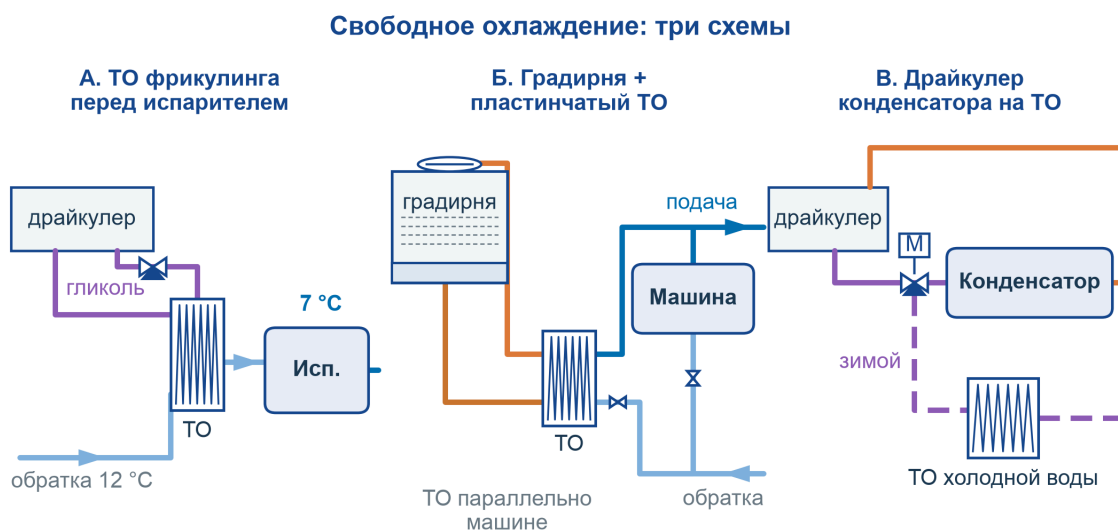
Главное на этой схеме: гликолевый контур полностью самостоятелен. Водопровод к нему не подходит — узел подпитки водой (элементы 17, 18) стоит только на контуре холодной воды.

5.2. Драйкулер на свободном охлаждении

Когда на улице холоднее, чем нужная холодная вода, драйкулер может охлаждать её без компрессора. Это свободное охлаждение (free cooling, фрикулинг). Для драйкулера в проекте встречаются две схемы:

- **последовательно с чиллером** — теплообменник фрикулинга стоит перед испарителем: обратная вода сначала остывает, насколько позволяет улица, а машина добирает остаток. Работает частичный режим, при достаточно холодной улице компрессоры стоят;
- **драйкулер конденсатора, переключаемый на теплообменник холодной воды** — летом гликоль идёт на конденсатор, зимой трёхходовые клапаны направляют его на теплообменник холодной воды мимо машины. Один драйкулер делает две работы.

Рисунок 16 Три схемы свободного охлаждения: теплообменник перед испарителем, градирня с пластинчатым теплообменником, драйкулер конденсатора с переключением

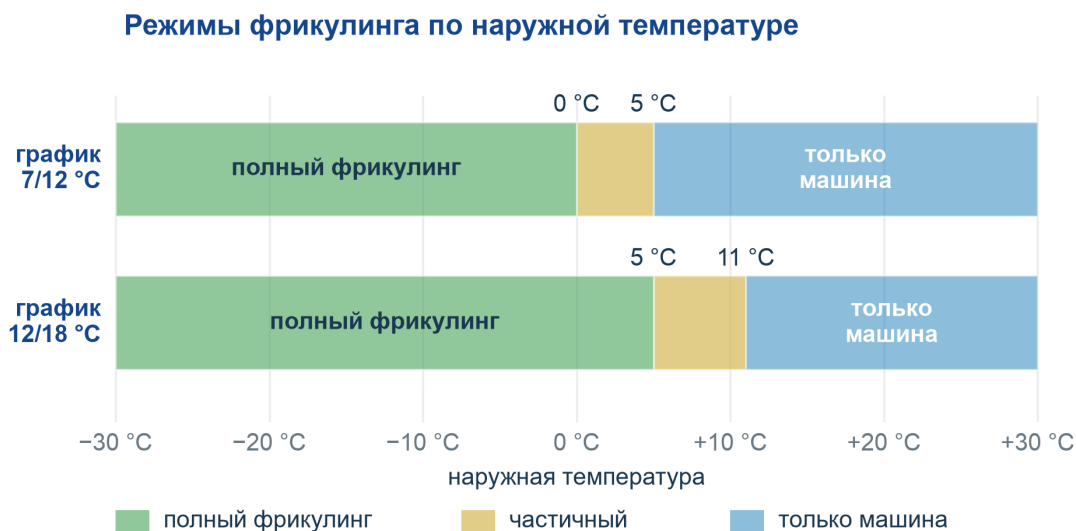


Общее

Во всех схемах: гликоль в наружном контуре, клапаны переключения с приводом, последовательная логика «сначала фрикулинг, машина добирает». Схема Б требует зимнего режима градирни.

Пороги. Частичный режим — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{обр}} - \Delta$, полный — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{под}} - \Delta$, где Δ — сумма недоохлаждений драйкулера и теплообменника. Для драйкулера $t_{\text{нар}}$ — сухой термометр. При графике 7/12 °С и $\Delta = 7$ К частичный фрикулинг начинается ниже 5 °С, полный — ниже 0 °С; при 12/18 °С — ниже 11 и 5 °С.

Рисунок 17 Режимы фрикулинга по наружной температуре для графиков 7/12 и 12/18 °С при $\Delta = 7$ К



Как считаются пороги

$\Delta = 7$ К: недоохлаждение драйкулера 5 К + теплообменника 2 К (допущения для показа метода).
Частичный — ниже обратки минус Δ , полный — ниже подачи минус Δ .

Связь с подбором драйкулера. Δ здесь — то самое недоохлаждение из раздела 4.2, только зимой. Драйкулер, подобранный с запасом по площади, даёт меньшую Δ и больше часов без компрессора. Поэтому при фрикулинге драйкулер иногда подбирают не на летний сброс тепла, а на зимнюю точку переключения — проверяйте обе.

ПРИМЕЧАНИЕ

Схемы, пороги, часы фрикулинга в Москве и Петербурге и баланс в киловатт-часах подробно — в руководстве ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 7. Здесь только то, что касается драйкулера.

5.3. Драйкулер в технологии

Наши драйкулеры работают на заводах пластмассовых труб и профилей, стекольных, деревообрабатывающих, пищевых и химических производствах, в центрах обработки данных и на буровой платформе. Схема в технологии проще, чем у чиллера: драйкулер напрямую снимает тепло с оборудования — станков, линий с электрогенераторами и другого оборудования.

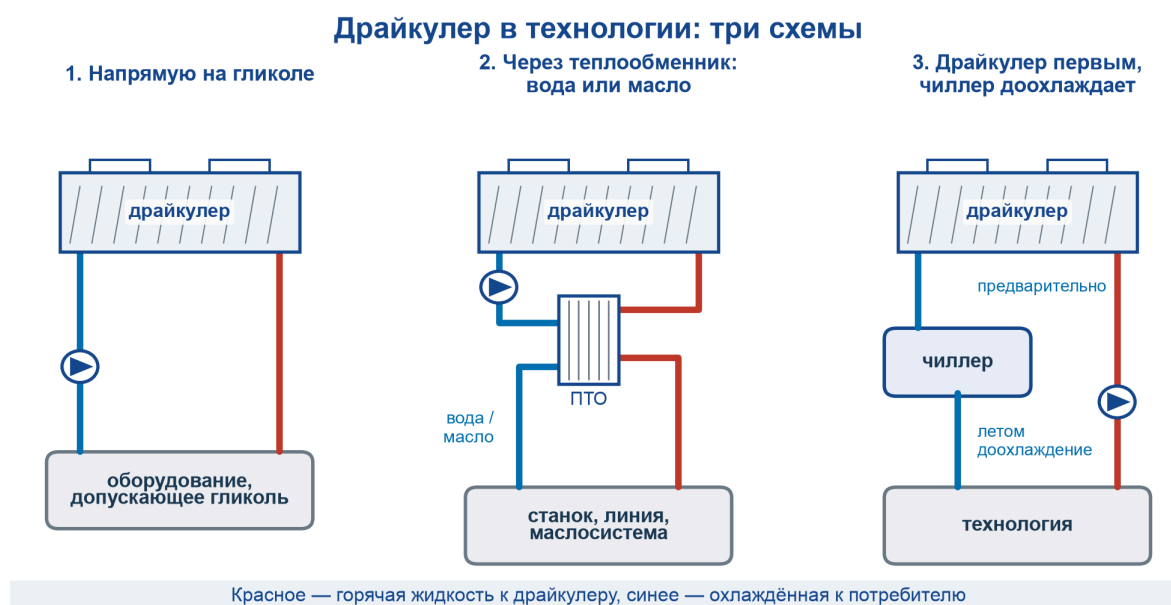
Когда драйкулер в технологии выигрывает:

- жидкость нужна на 3–5 °С и более теплее наружного воздуха;
- жидкость горячая, 60–70 °С: большой напор, аппарат получается компактным (проверка воздуха на выходе — раздел 4.4);
- контур должен остаться чистым: драйкулер отделяет теплоноситель от атмосферы;
- нет воды на подпитку и нельзя организовать оборотный цикл с испарительной градирней.

Напрямую или через теплообменник. Если оборудование допускает гликоль — один контур, как в варианте А раздела 5.1. Если технология требует воды (изготовитель оборудования не допускает гликоль, риск попадания в продукт) или охлаждаемая среда — масло, гликоль остаётся в наружном контуре, а к оборудованию идёт вода или масло через пластинчатый теплообменник. Расплата — те же 2–4 К.

Если летом драйкулер не дотягивает. Когда технологии нужна жидкость холоднее, чем позволяет сухой термометр плюс недоохлаждение, драйкулер ставят первым по ходу жидкости, а чиллер — вторым, на доохлаждение. Большую часть года чиллер стоит или работает на малой ступени.

Рисунок 18 Драйкулер в технологии: напрямую на гликоле, через теплообменник для воды или масла, с доохлаждением чиллером летом



ВНИМАНИЕ

Наращивание мощности. Мощность системы на драйкулерах наращивают, добавляя модули к работающей установке. Закладывайте это сразу: коллекторы с заглушёнными отводами, место на площадке, запорную арматуру на каждый теплообменник (опция опросного листа) — тогда новый блок подключают без остановки действующих.

5.4. Адиабатический драйкулер с пиковым догрузом

Адиабатический драйкулер работает в двух режимах и переключается автоматически по температуре наружного воздуха. Зимой и в межсезонье он сухой, без воды; зимой возможен фрикулинг. Выше заданного порога автоматика включает увлажнение.

Пиковый догруз. Схема позволяет подобрать сухой теплообменник не на самый жаркий час, а на более низкую температуру, и закрыть пик адиабатикой. По таблице раздела 4.2: аппарат на сухие 26 °С вместо 30 °С — примерно на треть меньше по площади. Выше 26 °С работает адиабатика: в расчётный час Москвы (29,9 °С по сухому, 22,1 °С по мокрому) нужно опустить воздух до 26 °С, то есть на 3,9 К, а потенциал — 7,8 К. Запас есть.

Где схема не проходит. В абсолютный максимум, 38 °С, воздух нужно опустить на 12 К. Возможно ли это, решает мокрый термометр именно в этот час — проверяйте по климатическим данным площадки. Второй риск — вода: если на объекте её отключили, пик остаётся без догруза.

ВНИМАНИЕ

Для непрерывных процессов сухой теплообменник подбирают на расчётную температуру без адиабатики, а адиабатику считают запасом. Пиковый догруз уместен там, где кратковременный выход за режим допустим и это записано в задании.

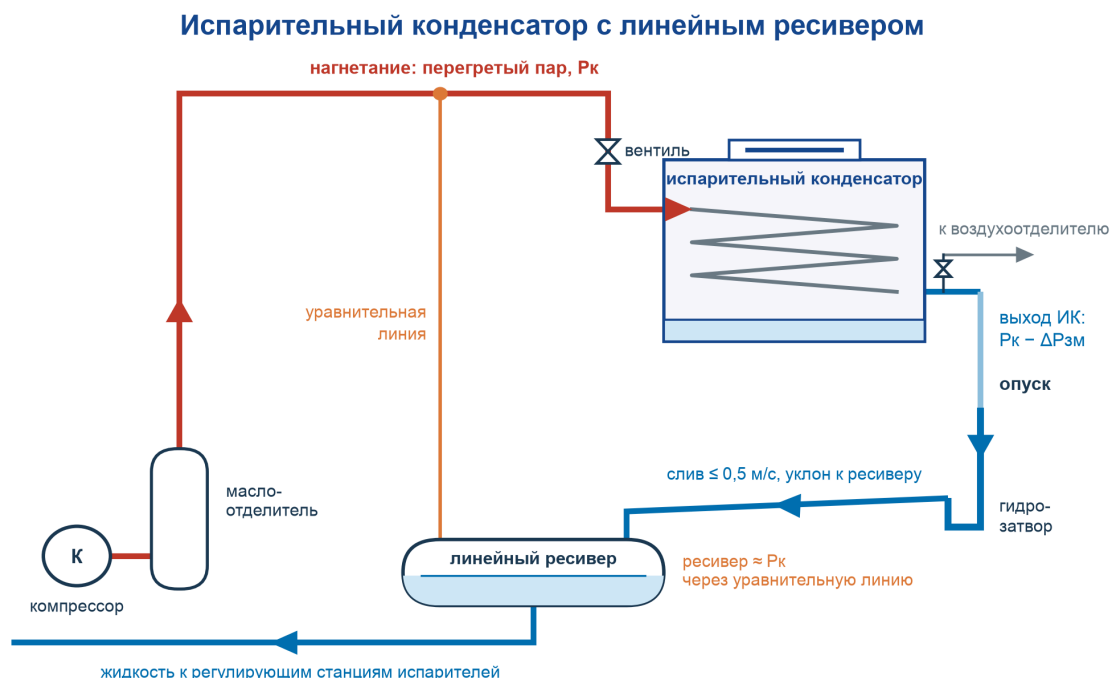
Что положить в проект адиабатики:

- ввод воды к форсункам с запорной арматурой и защитой водопровода от обратного потока по техническим условиям водоканала;
- слив линии на зиму: адиабатика в мороз не работает, а вода в наружной трубе замёрзнет (раздел 7);
- дренаж воды, которая не испарилась, — по паспорту системы;
- уставку включения по наружной температуре с гистерезисом — в задание на автоматику (раздел 9);
- подход к форсункам для обслуживания.

5.5. Испарительный конденсатор в холодильной установке

ИК встаёт на место воздушного конденсатора или связки «кожухотрубный конденсатор + градирня». Пар хладагента от компрессоров идёт в верхний коллектор змеевика, жидкость стекает самотёком в ресивер. Отдельной градирни, насосной оборотной воды и теплообменника нет. ИК NCT работают на аммиаке, пропане, бутане, CO₂ и фреонах R22, R134A, R290, R407C, R410A, R507A; модельный ряд — 250–3500 кВт в базовой точке.

Рисунок 19 Испарительный конденсатор с линейным ресивером: слив самотёком, уравнительная линия держит давление в ресивере



На фреоне. Типовая замена воздушного конденсатора, который летом «не вытягивает»: тот же цикл, но конденсация ниже. Схема — ИК, сливная линия, линейный ресивер, жидкость к расшири-

тельными устройствам. Удаление неконденсируемых газов на фреоне — сервисной процедурой через ресивер.

На аммиаке. Давление в змеевике ИК — 5–20 бар против 1–4 бар у закрытой градирни. Установка — опасный производственный объект, оборудование под давлением — по ТР ТС 032/2013 (нормы — раздел 10). В проект добавляются автоматический многоточечный воздухоотделитель с отбором с выхода каждого ИК и взрывозащищённое исполнение двигателей в аммиачной зоне (опция опросного листа).

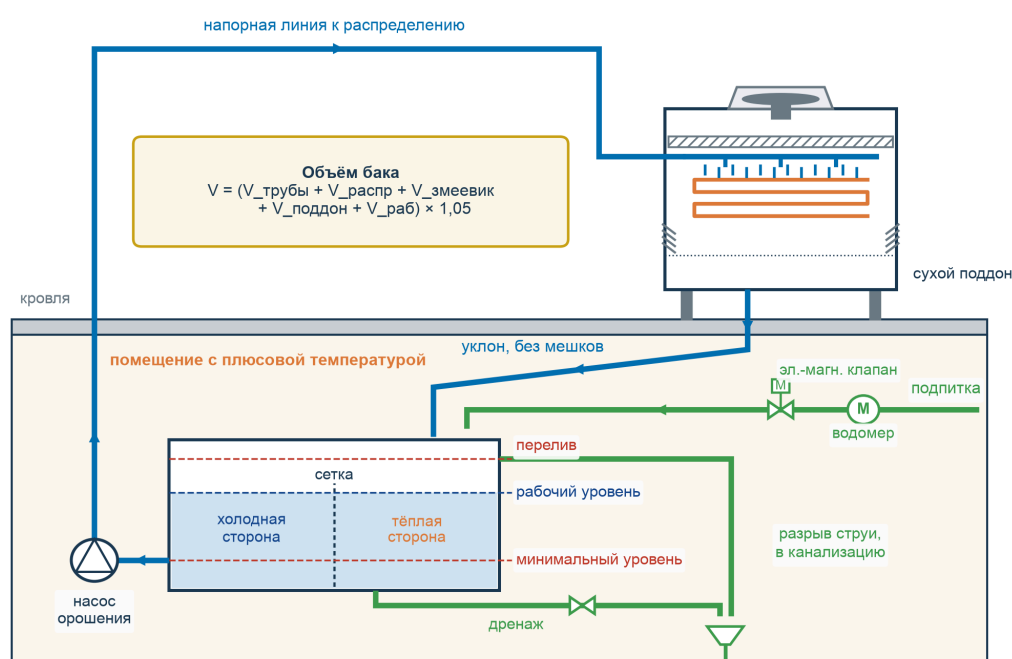
Пример насосной схемы (объект из раздела 4.6). На заводе три уровня кипения, жидкий аммиак подаётся в испарители насосами с кратностью циркуляции 4. Со стороны конденсаторов схема такая:

1. Компрессоры нагнетают пар по общей магистрали к двум ИК на кровле, отметка +10,700. 2. Жидкость из ИК стекает в линейно-приоритетный ресивер объёмом 3,04 м³ на отметке +8,600. 3. Из ресивера жидкость идёт в первую очередь на термосифонные маслоохладители компрессоров, затем к отделителю жидкости и циркуляционным ресиверам, откуда насосы подают аммиак в испарители.

Для проектировщика ИК из этого следуют две вещи: ресивер ниже конденсаторов, и разница отметок — часть расчёта сливной линии; тепло маслоохладителей возвращается в ИК и входит в ТНР. Высоты опусков, гидрозатворы и диаметры сливных линий — раздел 6.

Контур орошения: встроенный насос или выносной бак. В стандартном исполнении вода орошения хранится в поддоне ИК, насос стоит на аппарате. Для круглогодичной работы в морозы применяют выносную схему: бак и насосы в тёплом помещении, из поддона — выпуск вниз (опция), вода в поддоне не задерживается и при остановке сливается. В примере раздела 4.6 так и сделано: насосы по схеме «два рабочих и один резервный» подают воду на конденсаторы из бака, вода сливается в поддоны и возвращается в бак; ниже –5 °С подачу воды прекращают, и ИК работают сухими.

Рисунок 20 Выносной бак контура орошения в тёплом помещении: поддон аппарата сухой, вода стекает в бак самотёком



ВНИМАНИЕ

Остановка насоса орошения — авария холодильной установки. Давление конденсации растёт за минуты, компрессоры уходят в защиту. Сигнал «насос орошения не работает» заводят в щит холодильной установки, а не только в щит ИК; на критичных объектах закладывают резервный насос или двигатель в горячем резерве.

5.6. Несколько ИК параллельно

Два и больше ИК включают только параллельно. Правила:

- нагнетательный коллектор симметричный, с запорной арматурой на входе каждого ИК;
- на выходе каждого ИК — свой опуск с гидрозатвором, даже если аппараты одинаковые: потери в змеевиках никогда не равны;
- уравнильная линия ресивера — в нагнетательный коллектор, никогда к выходам ИК: это то же самое, что убрать гидрозатворы;
- отбор неконденсируемых газов — с выхода каждого ИК отдельной трубкой, точки опрашивают по одной;
- вода орошения: у каждого ИК своя подпитка и водоподготовка либо общий выносной бак.

Рисунок 21 Параллельные ИК: свой опуск с гидрозатвором у каждого, уравнильная линия — в нагнетательный коллектор



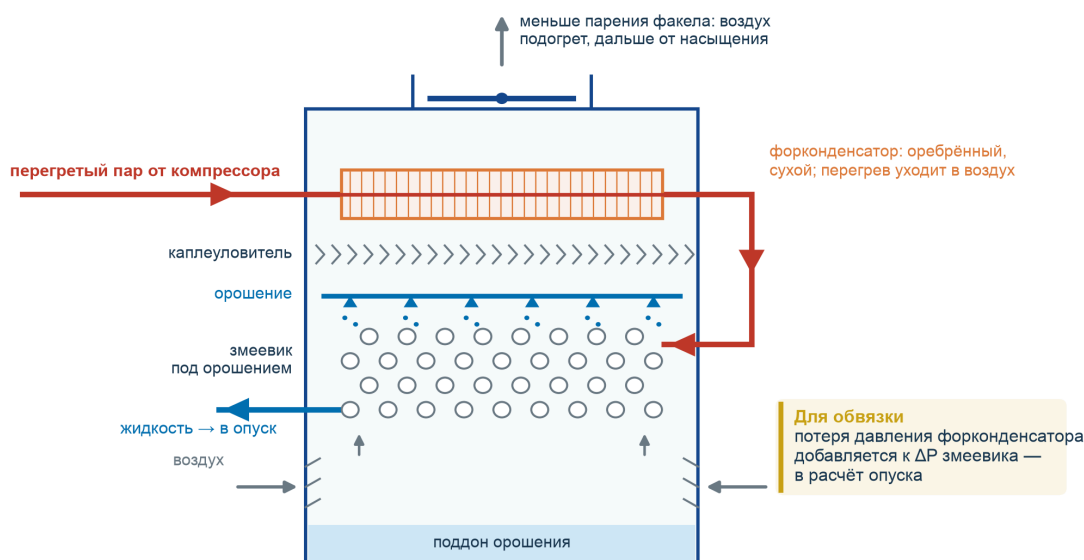
Резерв. Модели VRX3 и VRX4 — двухсекционные; в каждую секцию можно поставить резервный двигатель с приводом в горячем резерве. Между секциями оставляют 1,5–2 м для обслуживания резервных двигателей. Если в проекте предусмотрено ступенчатое отключение ИК зимой, опуски проверяют и на этом режиме: работающие змеевики меняют потери давления, а остановленный ИК конденсирует газ в себе.

5.7. Форконденсатор и рекуперация тепла

Форконденсатор. Оребренный стальной теплообменник в верхней части ИК, в потоке уходящего воздуха, без орошения. Перегретый пар сначала проходит его, отдаёт перегрев сухому воздуху и только потом идёт в основной змеевик. Его применяют, если пар на входе горячее **90 °С**. Что он даёт: снимает перегрев, уменьшает видимое парение над аппаратом и повышает производительность в сухом режиме. В обвязке он стоит на нагнетании перед входным коллектором; его потерю давления включают в расчёт опуска.

Рисунок 22 Форконденсатор снимает перегрев до основного змеевика; его потеря давления — в расчёт опуска

Форконденсатор снимает перегрев до основного змеевика



Рекуперация тепла. Тепло перегретого пара можно забрать до конденсатора на нужды объекта. В опросном листе ИК NCT это отдельный пункт «рекуперация тепла (ГВС, отопление)» с параметрами теплоносителя. В примере раздела 4.6 горячий пар аммиака (до 89 °С) проходит теплообменник-рекуператор и нагревает теплоноситель для оттайки воздухоохладителей — электрический нагрев на оттайку не нужен.

Рекуператор ставят на нагнетании последовательно перед ИК. Конденсатор при этом подбирают на полное тепло: рекуператор работает не всегда, а летний пик ИК обязан снять без него. Если в рекуператоре начинается конденсация, это уже второй конденсатор в схеме: нужны ресивер и регулирование, и решение принимает проектировщик холодильной установки.

Чек-лист раздела 5: схема включения выбрана

- ☐ Для драйкулера на чиллере выбран вариант: гликоль прямо через конденсатор или через теплообменник, и записано почему.
- ☐ Гликолевый контур самостоятелен: свой расширительный бак, подпитка раствором, воздухоотводчики в верхних точках, слив в тару.
- ☐ Если есть фрикулинг, драйкулер проверен на зимнюю точку переключения, а не только на летний сброс тепла.

- Для технологии решено, допускает ли оборудование гликоль; для горячих жидкостей проверен воздух на выходе.
- Для адиабатики с пиковым догрузом проверен мокрый термометр в самый жаркий час и записано, что будет без воды.
- Для ИК есть ТНР с источником, отметки «ИК — ресивер», сигнал насоса орошения в щит холодильной установки.
- Параллельные ИК: симметричный коллектор, свой гидрозатвор у каждого, уравнивательная линия — в нагнетательный коллектор.
- Для пара горячее 90 °С предусмотрен форконденсатор; рекуператор, если есть, не уменьшает расчётную мощность ИК.

Правило прохода: схема без отметок, без самостоятельного гликолевого контура или с уравнивательной линией к выходам ИК на выпуск не идёт.

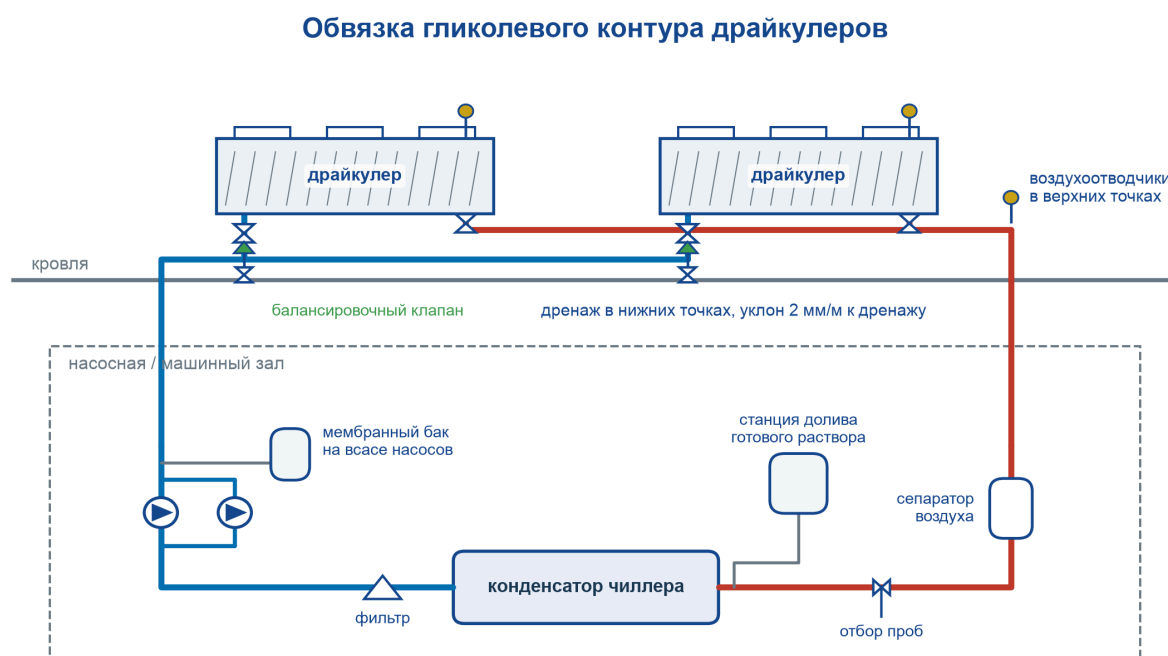
6. Обязка

У трёх аппаратов этой книги три разные обязки. Драйкулер и адиабатический драйкулер — закрытый жидкостный контур под давлением. Испарительный конденсатор (ИК) — две обязки сразу: по хладагенту и по воде орошения. АВО обязывают по технологическому проекту установки: среда до 32,0 МПа и до 400 °С, и трубы считают по правилам для неё. Завод отвечает за аппарат до фланцев, всё остальное — зона проекта.

6.1. Гидравлика драйкулера

Контур драйкулера — сосуд под давлением без свободной поверхности: прирост объёма принимает только расширительный бак, давление в каждой точке задаёт проектировщик, воздух выводят из верхних точек. Драйкулер на кровле почти всегда и есть самая высокая точка.

Рисунок 23 Обязка гликолевого контура драйкулера: коллекторы, воздухоотводчики в верхних точках, дренажи в нижних, мембранный бак на всасе насоса, подпитка готовым раствором



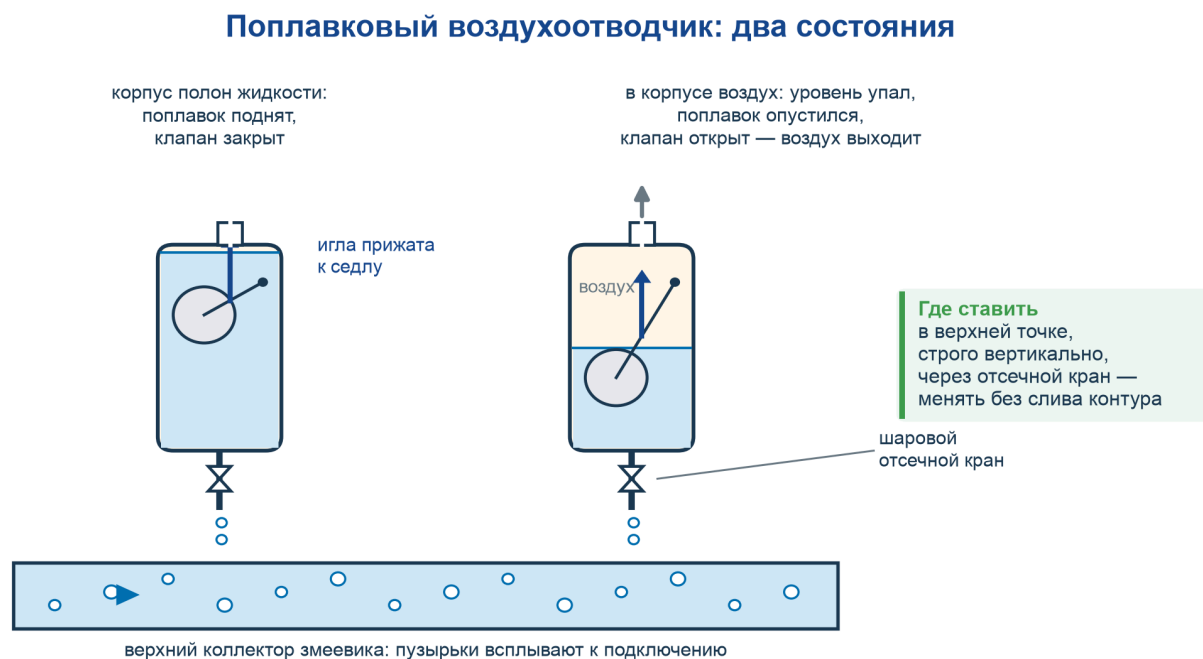
Коллекторы и секции. Секции теплообменника внутри аппарата завод объединяет входным и выходным коллекторами. Если драйкулеров несколько, каждому нужен свой расчётный расход:

- симметричные подающий и обратный коллекторы — одинаковая длина и сопротивление веток до каждого аппарата;
- балансировочный клапан с ниппелями на выходе каждого драйкулера — не прикрытый дисковый затвор;
- запорная арматура на входе и выходе каждого аппарата, чтобы выводить его в ремонт без слива контура (в опросном листе NCT — опция «запорная арматура на каждый теплообменник»);
- проверка режима с одним выключенным драйкулером: остальные получают больше раствора, и их сопротивление вырастет.

Воздухоудаление в верхних точках. Автоматический воздухоотводчик — на верхний коллектор каждого драйкулера и в каждую верхнюю точку трассы, включая каждую перевёрнутую «П» над

проходом. Вертикально и через отсечной кран. Скорость в трубах не ниже 0,6 м/с (по данным производителей чиллеров): тогда воздух уносится к сепаратору, а не копится в карманах. Сепаратор ставят там, где жидкость теплее, а давление ниже, — при перепаде 5–10 К это обратка перед всасом насоса, рядом с баком.

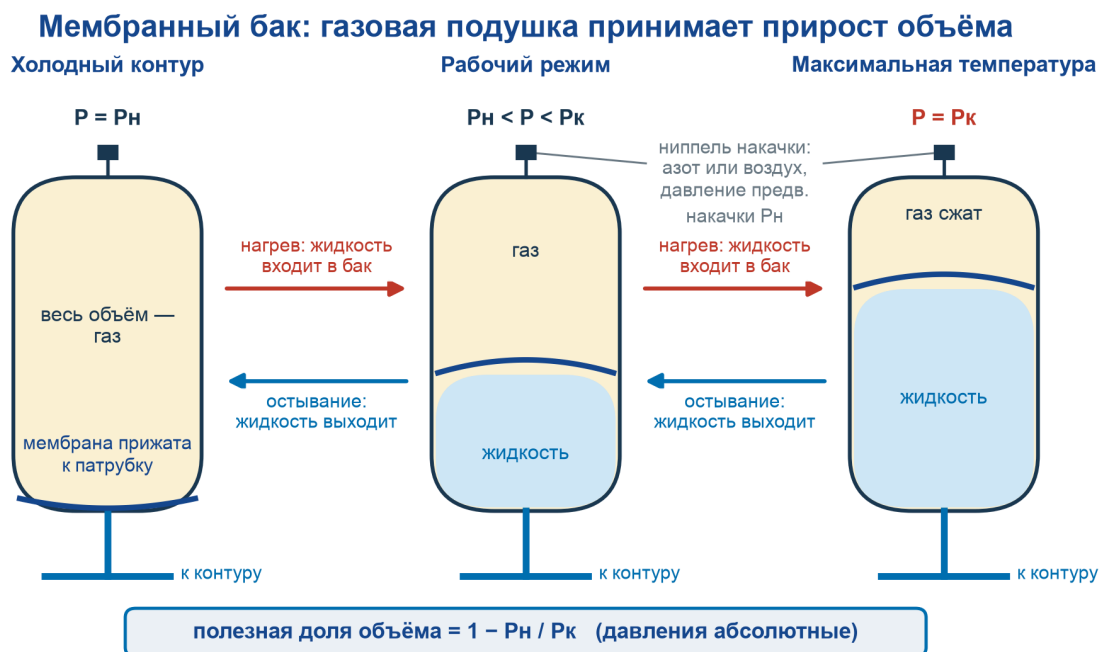
Рисунок 24 Поплавковый воздухоотводчик: стравливает воздух, пока в корпусе нет жидкости; ставится в верхней точке, вертикально, через отсечной кран



Слив и дренаж из нижних точек. В каждой нижней точке — дренажный кран. Горизонтальные участки — с уклоном не меньше 2 мм/м к дренажам на магистрали, а не к аппаратам, иначе грязь трассы уйдёт в теплообменник. Гликоль сливают в тару, не в канализацию.

Мембранный бак. У гликолевого контура свой бак, на всасе его циркуляционного насоса: эта точка держит давление неизменным, и верх драйкулера не уходит в вакуум. Бак на нагнетании при пуске провалит всас на величину напора, и воздух пойдёт внутрь через воздухоотводчики. Расчёт — на **абсолютных** давлениях: с избыточными бак выходит меньше на 15 %, а в низких контурах — в полтора-два раза.

Рисунок 25 Мембранный бак: газовая подушка сжимается и принимает прирост объёма; полезная доля объёма $1 - P_n / P_k$ на абсолютных давлениях



Расчёт бака гликолевого контура.

Дано. Драйкулер на кровле конденсатора чиллера. Трубы DN150 2 × 60 м (2,12 м³), драйкулер по паспорту — допустим 0,6 м³, конденсатор и арматура — 0,2 м³; всего 2,9 м³. Пропиленгликоль 40 %. Диапазон температур от -20 °C (стоянка зимой) до +50 °C (прогрев на кровле летом); расширение раствора на этот диапазон примем 2,5 % — в проекте его считают по таблице плотностей конкретного раствора. Верх драйкулера на 25 м выше бака, предохранительный клапан 6 бар.

1. Объём расширения: $2900 \times 0,025 = 73$ л. 2. Водяной запас 0,5 % объёма системы (методика производителей баков): 15 л. 3. Начальное давление: статика 25 м = 2,5 бар плюс 0,5 бар запаса в верхней точке = 3,0 бар изб. = 4,0 бар абс. 4. Конечное давление: 6 бар минус 0,5 бар на закрытие клапана = 5,5 бар изб. = 6,5 бар абс. 5. Полезная доля объёма: $1 - 4,0 / 6,5 = 0,385$. 6. Бак: $(73 + 15) / 0,385 = 229$ л → **250 л.**

Проверка. На кубометр системы это 86 л; водяному контуру холодной воды по той же методике обычно хватает около 31 л. Одинаковые баки у двух контуров «по аналогии» — признак ошибки. Накачку газа выставляют на 0,2–0,3 бар ниже начального давления; кран между баком и контуром — только с защитой от случайного закрытия.

Подпитка гликолем. Водопровод к гликолевому контуру не подводят: каждое пополнение водой разбавляет раствор, и за сезон 30 % превращаются в 25 %, а защита сползает с -14 °C к -10 °C. Ставят станцию долива: ёмкость с готовым раствором, насос с обратным клапаном и реле давления. Участились доливы — в контуре течь.

Фильтр, вставки, опоры. Сетчатый фильтр с манометрами до и после — на входе в теплообменник потребителя; первую промывку ведут через байпас, до подключения аппаратов. Гибкие вставки — вплотную к патрубкам насосов и аппаратов, соосно и без натяга; вес трубы несут опоры, а не патрубки. Для драйкулера NCT есть опция виброопор.

КИП. Термометр и манометр на входе и выходе каждого драйкулера, датчики температуры по каждому контуру (у NCT — опция), расходомер на коллекторе, кран отбора проб на доступной высоте. Сигналы — раздел 9.

Температурные границы аппарата. Теплообменник драйкулера NCT рассчитан на теплоноситель от -35 до $+80$ °С, вентиляторы — на наружный воздух от -35 до $+55$ °С. Жидкость $60-70$ °С драйкулер охладит, но воздух на выходе горячее $+55$ °С выводит вентиляторы из строя — для горячих жидкостей это проверяют по подбору.

ВНИМАНИЕ

Гликоль в контуре — значит, гликоль во всём. Насосы, бак, предохранительный клапан и уплотнения подбирают на раствор, а тип и концентрацию гликоля пишут в трёх местах: на схеме, в опросном листе драйкулера и в опросном листе насосной группы. Поправки к расходу и напору на гликоль — раздел 4.

6.2. Испарительный конденсатор по хладагенту

Испарительный конденсатор конденсирует ровно столько, сколько ему позволяет сливная линия. Жидкость, которая не ушла из змеевика, затопливает нижние ряды и выключает их из работы, давление конденсации растёт. Поэтому обвязку ИК считают не по патрубкам, а по двухфазному потоку и по отметкам.

Исходные данные от завода: схемы обвязки и протоколы гидроиспытаний входят в комплект документации NCT. Теплообменные секции поставляются заправленными азотом, трубки в них уложены под уклоном. Потерю давления в змеевике при максимальной нагрузке в каталоге не найти — её запрашивают вместе с подбором, без неё не посчитать опуск.

Нагнетание. Пар от компрессоров подводят к входному коллектору ИК сверху, с запорной арматурой на входе каждого аппарата. Если на нагнетании стоит форконденсатор — оребрённый теплообменник для снятия перегрева, который NCT предлагает при температуре пара выше 90 °С, — его потерю давления добавляют к потере змеевика.

Сливная линия. Жидкость от ИК к ресиверу течёт самотёком, навстречу ей идёт газ, выравнивающий давление. Скорость жидкости — не выше $0,5$ м/с (ASHRAE Handbook — Refrigeration, гл. 2). Линия «по диаметру патрубка» почти всегда эту скорость превышает.

Пример. Аммиак, $t_k = 35$ °С, тепло конденсации 1000 кВт; теплота конденсации ≈ 1123 кДж/кг, плотность жидкости ≈ 587 кг/м³.

1. Массовый расход: $1000 / 1123 = 0,89$ кг/с. 2. Объёмный расход: $0,89 / 587 = 0,00152$ м³/с. 3. Минимальный внутренний диаметр при $0,5$ м/с: $\sqrt{(4 \times 0,00152 / (3,14 \times 0,5))} = 0,062$ м. 4. **Итог:** DN65 (внутренний около 69 мм, скорость $0,41$ м/с). DN50 даёт $0,69$ м/с — не проходит.

Для фреонов считают по той же формуле со свойствами своего хладагента: объёмный расход жидкости у них при той же нагрузке выше.

Сифонный опуск и гидрозатвор. На выходе змеевика давление ниже, чем на входе, на потерю в змеевике и арматуре. Ресивер же уравнивающей линией связан с нагнетанием, давление в нём почти как на входе ИК. Жидкость должна течь «в гору по давлению», и толкает её только столб жидкости в вертикальном участке — сифонный опуск (trapped drop leg). Петля вниз — гидрозатвор (liquid seal): он не пускает газ из ресивера или соседнего ИК в выходной коллектор.

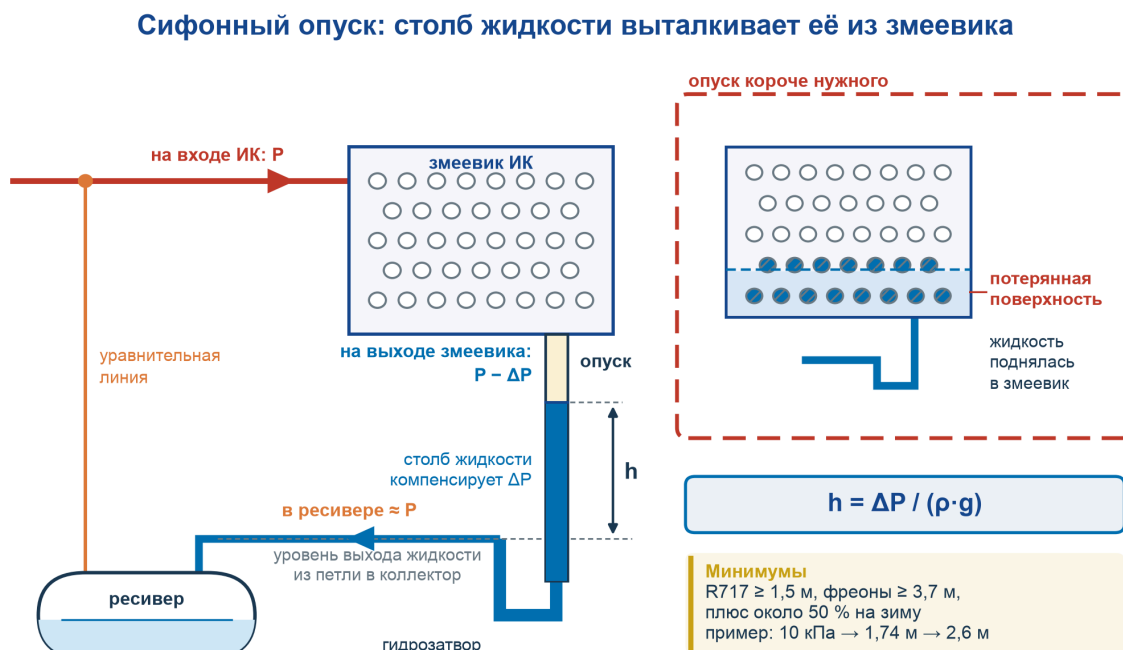
Высота опуска: $h = \Delta P / (\rho \cdot g)$. Минимумы: для аммиака не меньше $1,5$ м (ASHRAE Refrigeration, гл. 2), для фреонов — $3,7$ м (по данным производителей ИК); действует большее из расчётного и мини-

мального значений. Сверху желателен запас около 50 % на зиму, когда часть вентиляторов стоит и потери в змеевике растут.

Пример. Аммиак, потеря в змеевике 7 кПа, запорный вентиль на входе 3 кПа.

1. $\Delta P = 7 + 3 = 10$ кПа. 2. $h = 10\,000 / (587 \times 9,81) = 1,74$ м — больше минимума 1,5 м. 3. С запасом на зиму: $1,74 \times 1,5 = 2,6$ м.

Рисунок 26 Сифонный опуск: столб жидкости высотой h компенсирует потерю давления в змеевике; короткий опуск затопливает нижние ряды



Ресивер и уравнивательная линия. Чаще всего ставят проходной ресивер (through-type): вся жидкость из ИК проходит через него. Уравнивательную линию ресивера подключают в нагнетательный коллектор перед ИК и **никогда** — к выходам конденсаторов: по формулировке производителей ИК, это то же самое, что убрать сифоны. Тип ресивера и его объём определяет холодильщик; проектировщик обвязки проверяет одно — примет ли ресивер жидкость из змеевика при выводе ИК в ремонт.

Пример. Два VRX2-6, объём змеевика каждого по каталогу $3,03$ м³. Рабочий запас жидкости в ресивере — $2,0$ м³ (принято). Допустимое заполнение — 80 % (распространённая практика; для объекта сверить с правилами промышленной безопасности).

1. Жидкость в ресивере в худшем случае: $2,0 + 3,03 = 5,03$ м³. 2. Геометрический объём: $5,03 / 0,8 = 6,3$ м³.

Меньше — значит, нужен сосуд для перекачки, и он должен быть в проекте.

Рисунок 27 Линейный ресивер высокого давления: вход из сливного коллектора, уравнительная линия к нагнетательному коллектору, указатель уровня, максимальное заполнение не «под крышку»



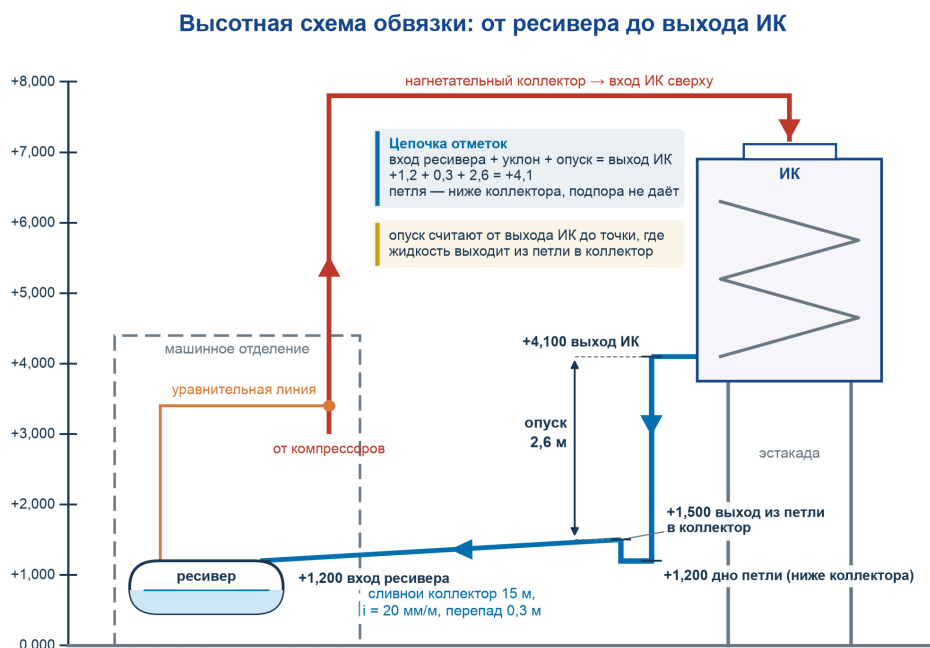
Высотная схема. Ошибки обвязки ИК видны на высотной схеме раньше, чем на площадке. Цепочка снизу вверх: вход ресивера, плюс перепад сливного коллектора (уклон 20 мм/м к ресиверу, по данным производителей ИК), плюс высота опуска — получается минимальная отметка выходного патрубка ИК. Глубина петли гидрозатвора в сумму не входит: петля уходит ниже коллектора.

Пример. Вход ресивера +1,2 м, коллектор 15 м, опуск 2,6 м.

1. Перепад коллектора: $15 \times 0,02 = 0,3$ м. 2. Выход жидкости из гидрозатвора: $1,2 + 0,3 = +1,5$ м. 3. Выходной патрубок ИК: $1,5 + 2,6 =$ **не ниже +4,1 м.**

Выходы ИК НСТ — в нижней части аппарата: на земле на раме 0,5 м патрубок окажется около +0,8 м. Значит, ИК — на эстакаду или кровлю, либо ресивер ниже; решают это до выбора места.

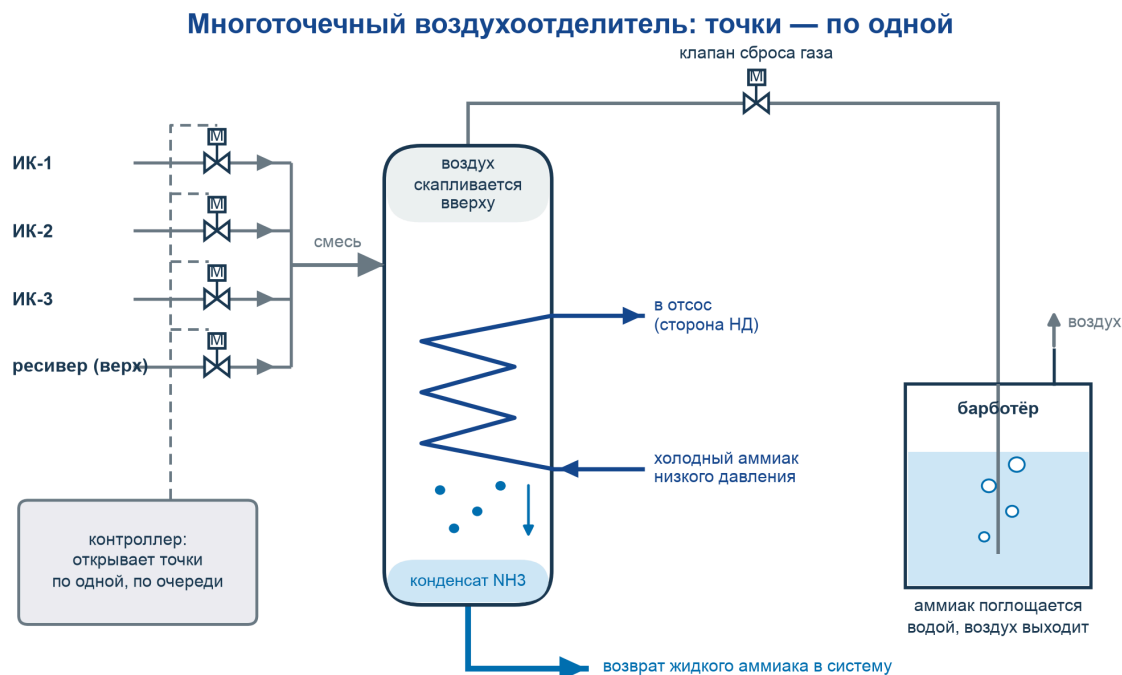
Рисунок 28 Высотная схема: отметка выхода ИК складывается из отметки ресивера, уклона коллектора и высоты опуска



Несколько ИК параллельно. Все правила выше — к каждому аппарату, плюс свои:

- отдельный опуск с гидрозатвором на выходе каждого ИК, даже одинаковых: потери в змеевиках никогда не равны, и газ менее нагруженного ИК вытолкнет жидкость назад в соседний;
- опуски считают по ИК с наибольшей потерей давления, при разных типоразмерах — у каждого свой;
- нагнетательный коллектор симметричный, уравнивательная линия — в его центр;
- опуски проверяют и на режиме с частью остановленных ИК и вентиляторов.

Неконденсирующиеся газы и воздухоотделитель. Воздух и продукты разложения не конденсируются и скапливаются там, где конденсация кончается: у выхода змеевика и в верху ресивера. Они занимают поверхность и поднимают давление конденсации. Точки отбора делают на выходе каждого ИК отдельной трубкой и открывают **по одной**: если открыть несколько сразу, газ пойдёт из одного ИК в другой в обход гидрозатворов. Для аммиака ставят автоматический многоточечный воздухоотделитель (purger): он по очереди опрашивает точки, конденсирует аммиак и возвращает его в систему, а газ сбрасывает через водяной барботёр. В проекте — штуцер на выходе каждого ИК (если его нет в стандартной комплектации, запрашивают у завода), трубки и место под аппарат.



ВАЖНО

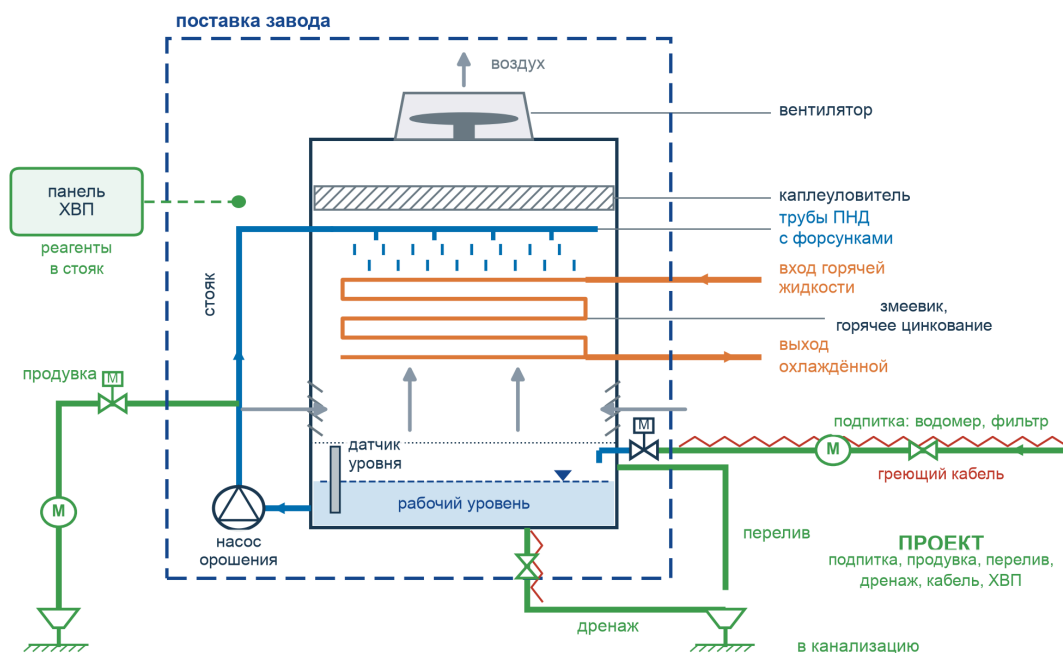
Без трёх цифр раздел не выпускают: высота каждого опуска с расчётом, диаметр сливной линии со скоростью и отметки «выход ИК — ресивер». Исправлять это потом придётся на работающей аммиачной установке. Нормы для аммиачных систем — раздел 10.

6.3. Контур орошения ИК

Контур орошения проектируют как открытый: баланс воды, продувка, химия, зима. Остановился насос орошения — давление конденсации растёт за минуты, компрессоры уходят в аварию.

Что поставляет завод. Поддон с тремя патрубками — подпитка, перелив, дренаж; водораспределение из полимерных труб с самоопорожняющимися форсунками; каплеуловитель. Насос орошения в стандартном исполнении ИК NCT не входит — его заказывают отдельной строкой или проектируют выносным. Датчик уровня в поддоне — опция, по одному на каждую задачу: контроль уровня, защита насоса от сухого хода, подогрев поддона.

Рисунок 30 Контур орошения: что поставляет завод и что показывает проект — подпитка, продувка, перелив, дренаж, греющий кабель, ХВП



Насос и форсунки. Расход орошения берут из подбора конкретной модели: по каталогу NCT от 8,8 л/с у SVAX1-4 до 58,6 л/с у VRX4-1; у VRX1-4 — 20 л/с, это 72 м³/ч. Допустимое давление перед форсунками — строка в техническом листе предложения. Три правила для схемы и алгоритма: насосом орошения мощность не регулируют — попеременное смачивание и высыхание змеевика даёт накипь; пускают сначала насос, потом вентилятор; низкий уровень в поддоне блокирует насос. Сигнал «насос орошения не работает» уходит в щит холодильной установки, а не только в щит ИК.

Встроенный поддон или выносной бак. Поддон ИК NCT вмещает несколько кубометров, и часто бак не нужен. Выносной бак ставят ради зимы, тёплой насосной или общего питания нескольких ИК. Для этого у NCT есть опция «выпуск из поддона вниз»: вода в поддоне не задерживается и при остановке стекает в бак. Бак — ниже поддона, самотёчная линия с уклоном и без мешков, а бак должен принять всё, что стечёт после остановки насоса.

Пример объёма бака. $V = (V_{\text{трубы}} + V_{\text{распр}} + V_{\text{змеевик}} + V_{\text{поддон}} + V_{\text{раб}}) \times 1,05$. Стояк DN150 длиной 12 м — 0,21 м³; распределение и плёнка на змеевике — по данным завода, допустим 0,4 м³; сливная линия DN200 длиной 8 м — 0,25 м³; рабочий объём при 72 м³/ч и 3 минутах запаса — 3,6 м³.

1. Сумма: 0,21 + 0,4 + 0,25 + 3,6 = 4,46 м³. 2. **Итог с запасом 5 %:** 4,7 м³.

Подпитка, продувка, перелив. Испарение считают от тепла: $E \text{ [л/с]} = Q / 2322$, где Q — тепло, отводимое конденсатором (холод плюс мощность компрессоров). Продувка $B = E / (N - 1)$, подпитка $M = E + B$; унос у каплеуловителя NCT (до 0,001 %) пренебрежимо мал.

Пример. Отводимое тепло 1250 кВт, циклы упаривания $N = 5$.

1. $E = 1250 / 2322 = 0,54 \text{ л/с} = 1,94 \text{ м}^3/\text{ч}$. 2. $B = 1,94 / 4 = 0,48 \text{ м}^3/\text{ч}$. 3. **Подпитка:** $1,94 + 0,48 = 2,42 \text{ м}^3/\text{ч}$ — это летний максимум, на него считают трубу и водомер.

Подпитка — через фильтр, водомер с импульсным выходом и электромагнитный клапан по датчику уровня, с греющим кабелем на уличном участке. Продувку берут с нагнетания насоса орошения: шаровой кран, сетчатый фильтр, нормально закрытый клапан по сигналу электропроводности, водомер, выпуск в воронку с видимым воздушным зазором. Перелив всегда открыт и выведен через разрыв струи, без задвижек. На аммиачных установках продувку не объединяют с дренажами машинного отделения. При нескольких ИК с собственными поддонами у каждого своя подпитка, продувка и дозирование — либо общий выносной бак.

Рисунок 31 Узел продувки: отбор с нагнетания насоса, клапан по электропроводности, водомер, разрыв струи; перелив, ручной кран и слив со дна поддона продувкой не являются

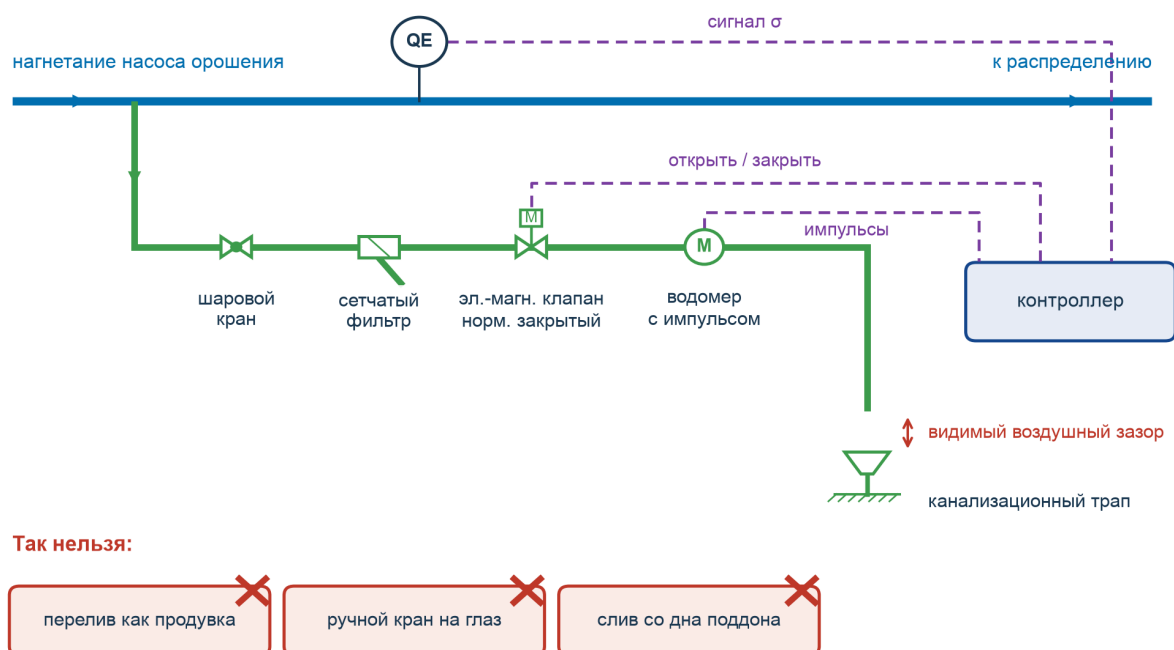


Таблица 12 Узлы обвязки: зачем и что будет, если забыть

Узел	Зачем	Что будет, если забыть
Мембранный бак на всасе насоса (драйкулер)	принимает расширение, держит давление в верхней точке	сброс гликоля через клапан летом, вакуум и подсос воздуха зимой
Воздухоотводчики в верхних точках	выпускают воздух из коллекторов и петель	верхние трубки выключены из теплообмена, шум, срыв насоса
Дренажи в нижних точках, уклон 2 мм/м	слив и промывка участков	раствор и грязь остаются в карманах, вода в «пустой» трубе замерзает
Подпитка готовым раствором	восполняет утечки без разбавления	концентрация падает, драйкулер размораживается
Балансировочный клапан на каждом драйкулере	расчётный расход через каждый аппарат	один аппарат перегружен, другой недогружен, температура не держится
Опуск с гидрозатвором на каждом ИК	выталкивает жидкость из змеевика	затопление нижних рядов, рост давления конденсации
Уравнительная линия в нагнетательный коллектор	выравнивает давление ресивера с входом ИК	подключённая к выходам — сифоны не работают
Точки отбора газов на каждом ИК	удаление неконденсирующихся газов	газ занимает поверхность, давление конденсации растёт

Узел	Зачем	Что будет, если забыть
Продувка по электропроводности	держит соли в контуре орошения	накипь на змеевике, потеря мощности
Открытый перелив с разрывом струи	сброс избытка воды	перелив на вентиляторы и в помещение

Чек-лист раздела 6: обвязка

- ☐ У каждого драйкулера — запорная арматура, балансирующий клапан, воздухоотводчик на верхнем коллекторе и дренаж на нижнем.
- ☐ Мембранный бак гликолевого контура посчитан на абсолютных давлениях и подключён на всас насоса.
- ☐ Гликолевый контур подпитывается только готовым раствором; есть кран отбора проб.
- ☐ Тип и концентрация гликоля записаны на схеме и в обоих опросных листах.
- ☐ Для ИК посчитаны сливная линия ($\leq 0,5$ м/с), опуск каждого аппарата и высотная цепочка до ресивера.
- ☐ Уравнительная линия — в нагнетательный коллектор; точки отбора газов — на каждом ИК.
- ☐ Контур орошения: насос заказан или запроектирован, подпитка, продувка по электропроводности, открытый перелив и дренаж на листе.
- ☐ Сигнал «насос орошения не работает» заведён в щит холодильной установки.

Правило прохода: нет расчёта бака, опуска или сливной линии — раздел обвязки не выпускать.

7. Зима и вода

Драйкулер без воды на улице не обмерзает, но гликоль в нём — главное зимнее решение проекта. У адиабатики и ИК вода на улице есть, и зимой её надо либо греть, либо убрать. Решения принимают на стадии П: от них зависят нагрузки, помещения и трассы.

7.1. Гликоль: концентрация и контроль

Каталог NCT прямо называет антифриз защитой теплообменника драйкулера зимой, когда процесс простаивает. Концентрацию выбирают по самой низкой температуре, которую увидит контур: зимняя температура по СП 131.13330 для города объекта плюс запас 3–5 К.

Таблица 13 Температура замерзания водных растворов гликоля

Концентрация, % по массе	20	30	40
Этиленгликоль, °C	–9	–16	–23
Пропиленгликоль, °C	–7	–13	–22

Данные производителей; рабочие значения — из паспорта конкретного раствора.

Защита от разрыва или от шуги. Если в мороз контур стоит, допустима шуга: сначала вымерзает вода, получается каша, которая обычно трубы не рвёт. Если драйкулер в мороз работает — конденсатор чиллера круглый год, фрикулинг, технология — шуга недопустима, и концентрацию берут по температуре замерзания с запасом. Проект пишет, от чего защищает выбранный раствор.

Пример. Москва, драйкулер на фрикулинге работает всю зиму. Холодная пятидневка обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330 — –26 °C.

1. Нужная граница с запасом 3–5 К: –29...–31 °C. 2. Этиленгликоль 40 % по массе замерзает при –23 °C — **не хватает**. 3. **Итог:** нужен более крепкий раствор; его температуру замерзания берут по таблице изготовителя и пересчитывают драйкулер и насосы на эту жидкость.

Лишние проценты стоят мощности драйкулера и энергии насосов круглый год, поэтому концентрацию берут минимально достаточную, а не «пятьдесят на всякий случай».

Какой гликоль. Только ингибированный, разрешённый для теплообменников; автомобильный антифриз не применяют. Растворы разных марок не смешивают.

Контроль. Концентрацию проверяют рефрактометром при пуске и каждую осень — для этого кран отбора проб на доступной высоте. Подпитка — только готовым раствором (раздел 6.1).

7.2. Если гликоль нельзя

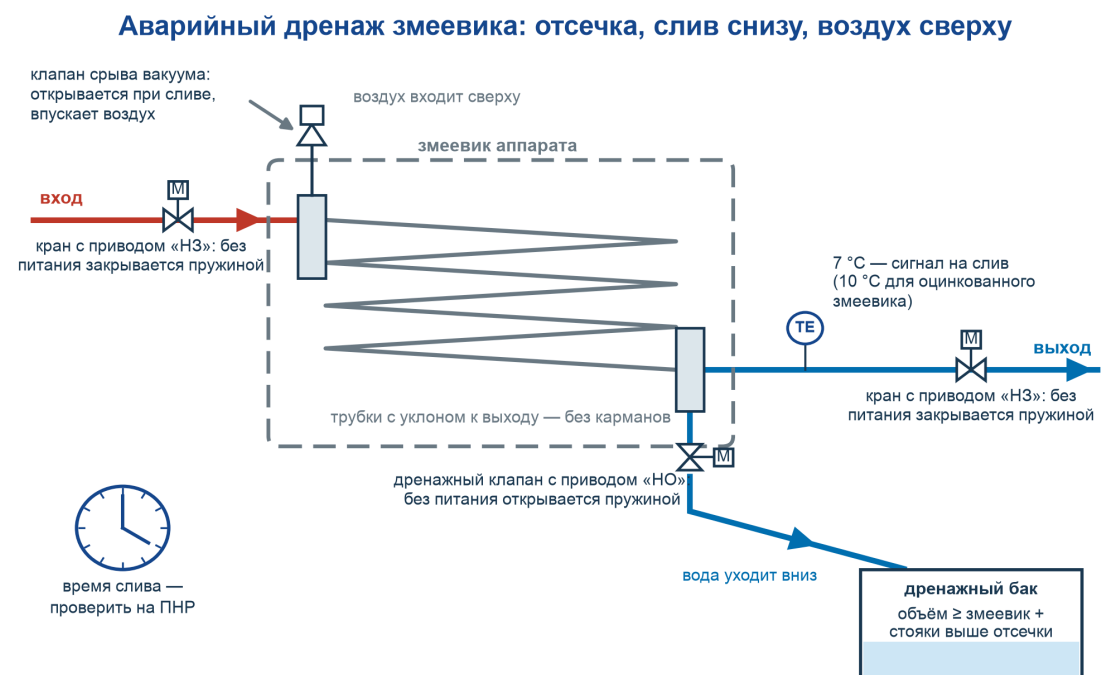
Пищевое производство может допускать только пропиленгликоль, фарма — только воду. Тогда три пути.

1. Промежуточный теплообменник. Гликоль только в контуре драйкулера, к потребителю идёт вода через пластинчатый теплообменник. Технология гликоля не видит, но добавляются теплообменник, насос и потеря 2–4 К температурного напора — драйкулер подбирают на эту разницу.

2. Слив на зиму. Годится, если холод зимой не нужен и в эксплуатации есть регламент. Трасса — с уклоном не меньше 2 мм/м, в каждой нижней точке дренаж, в каждой верхней воздухоотводчик; после слива участок продувают, иначе вода в карманах отводов замерзает и в «пустой» трубе.

3. Вода с аварийным сливом. Если аппарат на воде работает в мороз, нужен узел, который сольёт его раньше, чем вода замёрзнет: отсечные клапаны с приводом на входе и выходе (при пропадании питания закрываются), дренажный клапан в нижней точке (при пропадании питания открывается) и клапан срыва вакуума в верхней — без него вода не уйдёт. Уставку слива по температуре на выходе аппарата согласуют с заводом. Время слива оценочно: при дренаже DN50 и напоре около 2 м 3 м³ уходят за 15–20 минут; фактическое замеряют на пусконаладке.

Рисунок 32 Аварийный слив: отсечка с приводом, слив снизу, воздух сверху через клапан срыва вакуума, дренажный бак



ВНИМАНИЕ

Слив — аварийная мера, а не осенний регламент. Стальная труба, оставленная пустой и влажной, ржавеет изнутри быстрее заполненной. Если контур выводят на весь сезон, после слива его продувают и сушат или заполняют консервирующим раствором.

7.3. Адиабатика зимой

Адиабатический драйкулер NCT сам переключается по наружной температуре: зимой и в межсезонье работает сухим, без воды, увлажнение включается выше заданного порога. Значит, зимой линия воды к форсункам стоит без потока — и замёрзнет, если её не опорожнить.

Что заложить в проект:

- отсечной клапан с приводом на вводе воды — в отапливаемом помещении, а не на улице;
- уличный участок с уклоном к дренажу, дренажный клапан в нижней точке и воздушник в верхней — линию сливают при переходе в сухой режим;
- греющий кабель под изоляцией там, где вода может остаться, с сигналом неисправности;
- всё, что держит воду постоянно (фильтры, насос высокого давления, ёмкости), — в тёплом помещении;
- уставку перехода «сухой — адиабатика» и порядок слива — в задание на автоматику (раздел 9).

7.4. Испарительный конденсатор в мороз

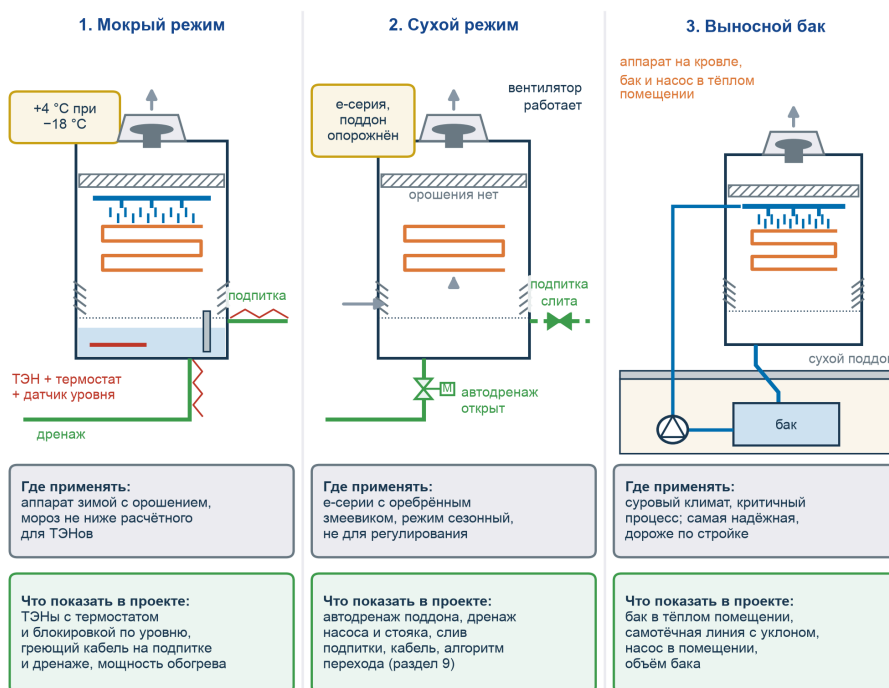
У ИК зимой две угрозы: замёрзнет вода орошения, и слишком упадёт давление конденсации. От первой — три схемы.

Таблица 14 Зимние схемы контура орошения ИК

Схема	Как работает	Что на листе
1. Мокрый режим с обогревом	орошение всю зиму, ТЭН в поддоне	ТЭН с термостатом и блокировкой по низкому уровню, кабель на подпитке и дренаже
2. Сухой режим	только вентиляторы, поддон пуст	автоматический дренаж поддона, насоса и стояка, отключение и слив подпитки
3. Выносной бак	поддон сухой, вода в баке в тёплом помещении	бак, самотёчная линия с уклоном, насос в помещении

Стандартные ТЭНы держат +4 °С в поддоне при –18 °С снаружи (по данным производителей). ТЭН защищает стоящую воду, а не змеевик, и без воды сгорает. Мороз ниже расчётного для ТЭНов — схема 2 или 3.

Рисунок 33 Три зимние схемы контура орошения: мокрый режим с ТЭНом, сухой режим с опорожнённым поддоном, выносной бак в тёплом помещении



Что даёт конструкция NCT. У VRX центробежный вентилятор стоит внизу, в потоке сухого наружного воздуха: рабочее колесо не обмерзает, двигатель не требует подогрева обмоток. У SVAX осевой вентилятор — в вытяжной части, в потоке тёплого воздуха, двигатель с антиконденсатным подогревом. Форсунки из полипропилена после остановки опорожняются сами. Опции зимы: ТЭН в поддоне, выносной поддон в тёплом помещении, греющий кабель и изоляция труб, аварийный соленоидный клапан, самоопорожнение подводящих и отводящих труб.

Сухой режим. ИК NCT могут работать без орошения; е-серии с оребрённым змеевиком — начиная с 0 °С, гладкотрубные — с опцией сухопарника. Режим только сезонный и только по согласованию с заводом: параметры сухого режима даёт завод. В сухом режиме поддон всегда опорожнён — вода в поддоне на морозе замёрзнет даже с ТЭНами.

Давление конденсации. Его держат вентиляторами (частотник не ниже 30 % скорости, не больше 6 пусков в час — по данным производителей), а если не хватает — подтоплением, для которого нужен свободный объём ресивера (раздел 6.2). Насос орошения при этом не выключают ради регулирования.

7.5. Качество воды для орошения и адиабатики

Контур орошения ИК — открытый: соли концентрируются, на змеевике растут накипь и биоплёнка. Для оцинкованного змеевика производители держат в контуре: pH 6,5–9,0, электропроводность до 2400 мкСм/см, хлориды до 250 мг/л; подпитку не умягчают полностью — жёсткость не ниже 30 мг/л CaCO₃. Опросный лист NCT на аммиачный ИК рекомендует жёсткость подпитки меньше 3 мг-экв/л и pH 6,5–8,5. Первые недели новый цинк пассивируют при pH 7,0–8,0: иначе вместо защитной плёнки растёт белая ржавчина.

В проекте: панель ХВП с продувкой по электропроводности и дозированием ингибитора и биоцида в нагнетание насоса (у NCT — W0C, W2C, W3C), водомеры на подпитке и продувке, кран отбора проб. Испарительные конденсаторы СанПиН 3.3686-21 (гл. XLII) относит к системам, требующим исследования на легионеллы; риск растёт при воде 20–50 °C, поэтому — никаких тупиков и застойных участков.

Для адиабатики высоконапорные форсунки NCT распыляют туман, который испаряется до теплообменника, но соли из плохой воды остаются на форсунках, а распыл — это аэрозоль. Цифр по качеству воды, давлению и расходу на форсунки в предложениях NCT нет: их берут из паспорта адиабатической системы и запрашивают у завода вместе с подбором.

Подробно о нормах воды, циклах, фильтрации и плане контроля легионеллы — в руководстве ЭХ-АРМ002-RU «Градири NCT», раздел 10.

Чек-лист раздела 7: зима и вода

- ☐ Концентрация гликоля выбрана по СП 131.13330 с запасом 3–5 К; записано, от чего защищает раствор.
- ☐ Гликоль ингибированный; кран отбора проб и проверка рефрактометром — в проекте.
- ☐ Если гликоль нельзя — выбран один путь: теплообменник, слив с продувкой или аварийный слив с клапаном срыва вакуума.
- ☐ Линия воды к адиабатике отсекается в тепле и сливается при переходе в сухой режим.
- ☐ Для ИК выбрана одна из трёх зимних схем, и на листе есть всё, что она требует.
- ☐ Сухой режим ИК согласован с заводом, поддон в нём опорожнён.
- ☐ Требования к воде орошения и пассивации — в пояснительной записке; панель ХВП и водомеры на схеме.

Правило прохода: аппарат или труба на улице без выбранной защиты от замерзания на выпуск не идёт.

8. Размещение

Аппарат охлаждает тем воздухом, который ему дали. Климат по СП 131.13330 — это температура улицы, а не воздуха на входе в теплообменник. На кровле к ней добавляются солнце, нагретое покрытие и выброс соседних машин. Поправку на место установки проектировщик назначает сам и объясняет в записке — а лучше доказывает расчётом, что она не нужна.

8.1. Рециркуляция горячего и влажного воздуха

Драйкулер выбрасывает вверх горячий сухой воздух, ИК и адиабатический драйкулер — тёплый влажный. Если часть выброса возвращается на вход, аппарат работает на воздухе, который уже поработал. Причины всегда одни: глухая стена рядом, приямок или колодец, ограждение выше аппарата, соседний аппарат вплотную, ветер, прижимающий факел.

Для драйкулера движущая сила — сухой термометр, и каждый кельвин подогрева воздуха на входе почти целиком переходит в температуру жидкости на выходе. Второе следствие — вентиляторы: воздух на выходе из теплообменника драйкулера NCT горячее +55 °С выводит их из строя, а рециркуляция поднимает именно эту температуру.

Пример. Драйкулер охлаждает конденсатор чиллера: 1000 кВт холода, компрессоры 250 кВт. Рециркуляция на тесной кровле подняла воздух на входе на 3 К, температура конденсации выросла на те же 3 К. Каждый кельвин конденсации стоит компрессору 1,8–4,0 % потребления (по данным производителей), для прикидки — 3 %.

1. Приrost мощности: $250 \times 3 \% \times 3 = 22,5$ кВт. 2. За 5000 часов работы: $22,5 \times 5000 = 112\,500$ кВт·ч в год лишнего электричества.

Для ИК движущая сила — мокрый термометр, и выброс поднимает его. Методика производителей: если площадка не укладывается в рекомендации, расчётный мокрый термометр увеличивают на поправку и подбирают аппарат заново; типовой пример — 21 → 22 °С. По опубликованным данным, рециркуляция на 1,1 К может отнять до 19 % производительности испарительного аппарата.

Рисунок 34 Стена выше аппарата возвращает выброс в воздухозабор; подъём на раму выше стены убирает рециркуляцию

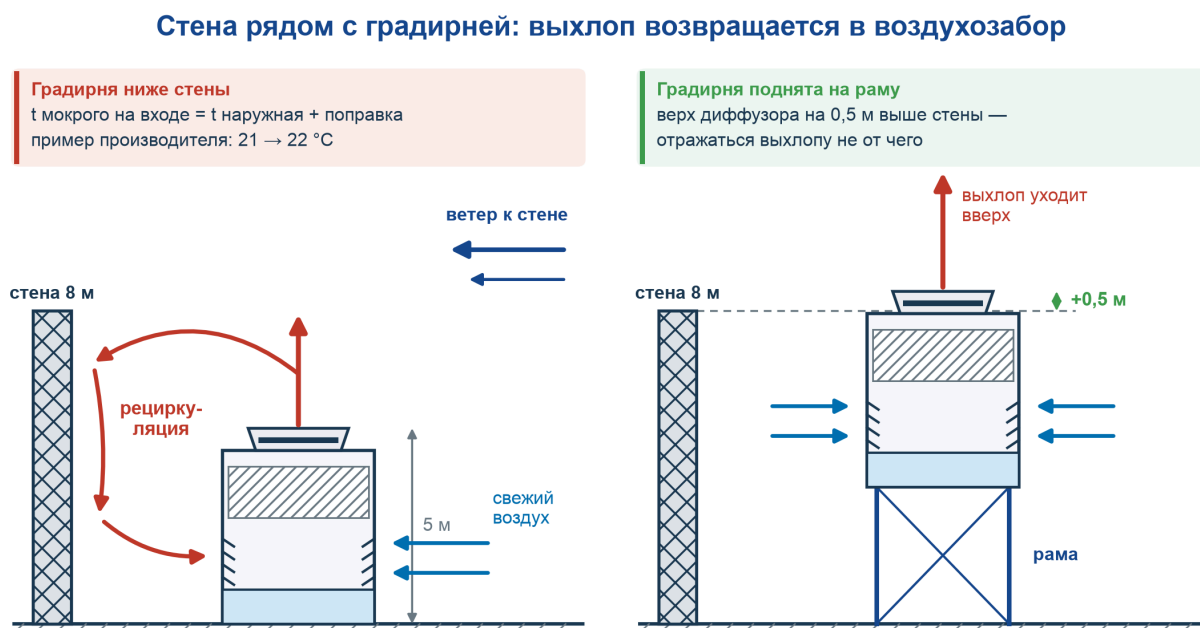
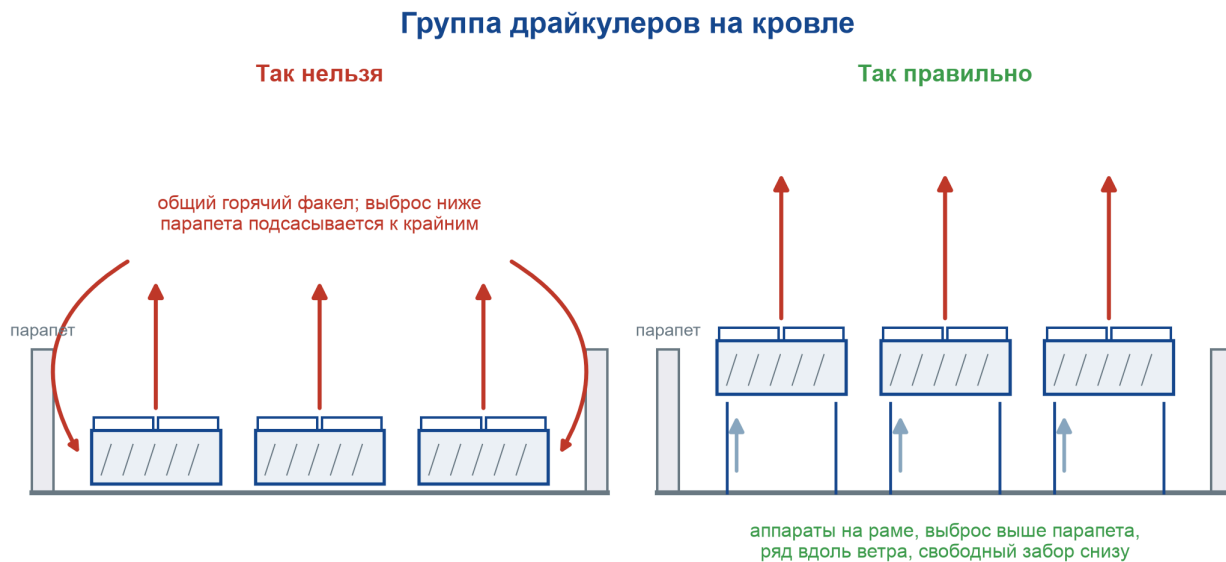


Рисунок 35 Группа драйкулеров на кровле: общий горячий факел, подсос его к крайним аппаратам у парапета и правильная компоновка в ряд с выбросом выше парапета



8.2. Расстояния до стен и между аппаратами

Драйкулеры и воздушные конденсаторы. Ориентир производителей — не ближе 1,2 м к стене и между соседними аппаратами. Ограждение вокруг не выше самого аппарата; если выше — заслонки, пропускающие свежий воздух. Верх вентиляторов — не ниже соседних стен и парапетов. Драйкулеры NCT ставят на ножках или кронштейнах, на земле и на кровле, горизонтально и вертикально; высоту опор назначают с учётом снегового покрова района, иначе зимой аппарат заметает и воздух идёт по кругу.

ИК серии VRX. Забор воздуха с одной стороны, поэтому VRX можно ставить глухой стороной к стене или «спина к спине». Если к стене обращено воздухозаборное окно, минимальное расстояние D1 по каталогу NCT зависит от длины аппарата и высоты металлоконструкции под ним:

Таблица 15 Минимальное расстояние D1 от воздухозабора VRX до стены, м

Длина агрегата, м	Рама 0 м	0,6 м	0,9 м	1,8 м и более
до 3,6	2,1	2,0	1,8	1,8
5,5	2,4	2,1	1,8	1,8
7,3	3,0	2,7	2,4	2,1
11	4,3	3,6	3,3	3,0

Для моделей шириной 3,6 м с односторонним расположением вентилятора расстояния на 0,1–0,5 м больше — по второй таблице каталога.

ИК серии SVAX. Воздух забирается по периметру. У стены одно или два из четырёх окон перекрываются, и это снижение производительности учитывают в подборе.

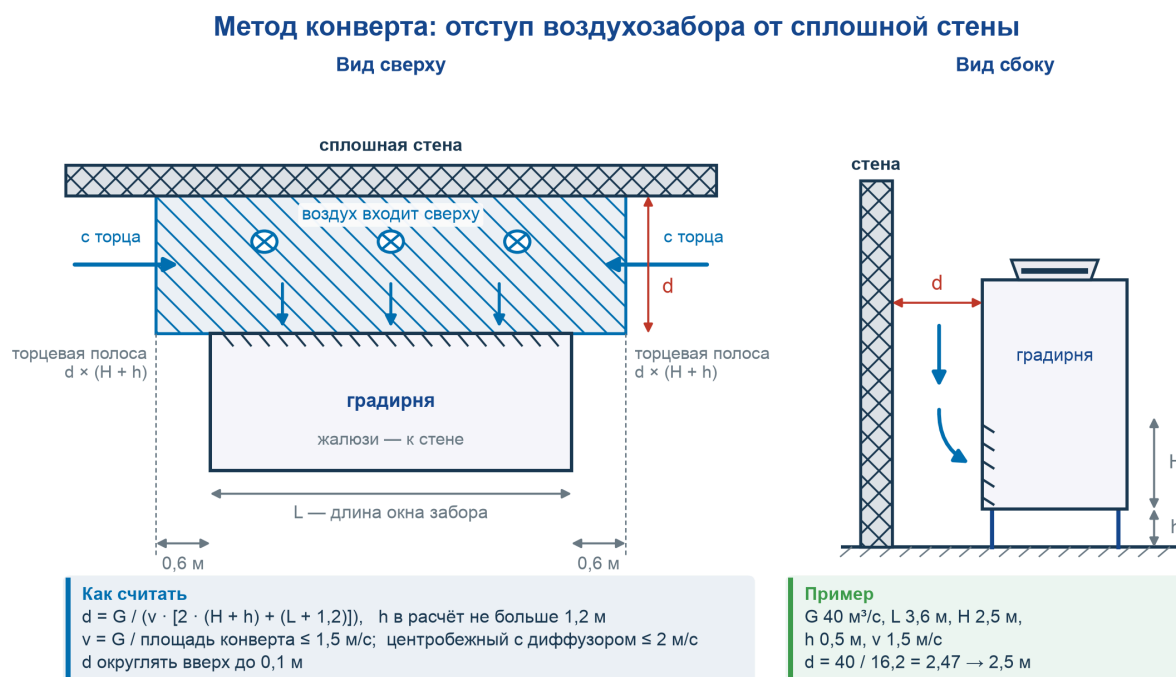
Метод конверта — проверка для любого испарительного аппарата у стены: скорость воздуха в зазоре между стеной и жалюзи не больше 1,5 м/с, для центробежного вентилятора с диффузором — 2 м/с.

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

где G — расход воздуха, м³/с; H и L — высота и длина окна забора, м; h — подъём над площадкой (в расчёт не больше 1,2 м).

Пример. G = 40 м³/с, L = 3,6 м, H = 2,5 м, h = 0,5 м, v = 1,5 м/с: d = 40 / (1,5 × 10,8) = 2,47 → **2,5 м**. С центробежным вентилятором и v = 2 м/с — 1,9 м.

Рисунок 36 Метод конверта: минимальный отступ воздухозабора от сплошной стены по допустимой скорости воздуха



Ещё три правила для испарительных аппаратов: в колодце или приемке нисходящая скорость воздуха не больше 2 м/с; жалюзийное ограждение — живое сечение не меньше 50 %, скорость не больше 3 м/с, до воздухозабора не меньше 0,9 м; воздухозаборы двух модулей друг напротив друга — не ближе $M = 2 \cdot d + n \cdot 0,3$ м (n — число секций в модуле).

8.3. Группы аппаратов и кровля

Группу ставят в ряд, с выбросом на одной отметке, выше парапета. Группу испарительных аппаратов поднимают 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 свой микроклимат, и общие методы перестают работать.

На кровле аппарат ставят на несущие конструкции, а не на кровельный пирог. Конструктору выдают эксплуатационную массу с жидкостью (для ИК — с водой в поддоне), схему опирания и динамическую нагрузку от вентиляторов цифрой. Трубы над кровлей отсекаются и сливаются, клапаны — ниже кровли.

Ветер. Ориентируйте аппарат так, чтобы преобладающий летний ветер уносил выброс от воздухозаборов, а не к ним. Выброс ИК и адиабатического драйкулера — не ближе 7,5 м к наружным воздухозаборам вентиляции, сам аппарат — не ближе 5 м (ANSI/ASHRAE 62.1, таблица 5-1, редакция 2019; в РФ не обязателен, но работает как проектное правило). Выброс не пускают над входами и проходами. Для АВО несущая конструкция НСТ рассчитана на ветровой район IV по СП 20.13330 и сейсмичность до 7 баллов по СП 14.13330; в опросном листе указывают среднегодовую скорость ветра.

Установка в помещении. VRX и SVAX можно ставить внутри, это решение для Крайнего Севера: воздуховод на выходе вентилятора, по данным производителей скорость во входном воздуховоде до 4 м/с, в выхлопном — до 5 м/с, внешнее давление для центробежных вентиляторов обычно до 250 Па. Такое решение согласуют с заводом.

8.4. Шум

Шумят вентиляторы с двигателями, у ИК — ещё и вода, падающая в поддон. Нормы для территории у жилых домов по СанПиН 1.2.3685-21 (таблица 5.35): днём (7–23 ч) 55 дБА эквивалентный и 70 дБА максимальный, ночью (23–7 ч) — 45 и 60 дБА. Методы расчёта — СП 51.13330.2011. Аппарат, который работает круглосуточно, проверяют по ночной норме.

Расстояние: $L = L_{\text{ref}} - 20 \cdot \lg(r / r_{\text{ref}})$, минус 6 дБ на каждое удвоение. Одинаковые источники: $+10 \cdot \lg n$ — два аппарата +3 дБ, четыре +6 дБ. Снижение оборотов ночью: $\Delta L \approx 50 \cdot \lg(n_1 / n_2)$ — оценка, точные уровни даёт завод.

Пример. ИК e-VRX: по проектам зарегистрировано 68 дБА на 10 м.

1. Ночные 45 дБА: $r = 10 \times 10^{((68 - 45) / 20)} = 141$ м; для двух аппаратов — около 200 м. 2. Ночью вентилятор на 70 % оборотов: $\Delta L \approx 50 \times \lg(1 / 0,7) = 7,7$ дБ, на 10 м остаётся 60,3 дБА. 3. **Итог:** с ночным режимом частотника норма выполняется уже с 58 м.

Чем добирают децибелы: частотное регулирование вентиляторов (у драйкулеров НСТ — опция плавного регулирования); у VRX — более тихой стороной к нормируемой территории; шумоглушители (у VRX и SVAX опция, может потребовать замены двигателя); у драйкулера — шумозащитный экран по периметру (опция в опросном листе). Требование к шуму пишут в опросный лист: дБА и расстояние, на котором их нужно получить. Глушение, добавленное после монтажа, почти невозможно.

8.5. Обслуживание

Место под обслуживание рисуют на плане сразу, а не «как останется». У ИК NCT — доступ к поддону со всех сторон, люк-лаз для чистки, съёмные каплеуловители и форсунки, площадки и лестницы обслуживания (опция); у VRX двигатель, насос орошения и патрубки — с одной стороны, её выбирают опцией «правое/левое исполнение». У драйкулера — подход к каждому вентилятору (ремонтные выключатели на каждом — опция) и к теплообменнику для чистки оребрения. Для ABO и крупных групп — подъезд крана и ремонтная зона.

Чек-лист раздела 8: размещение

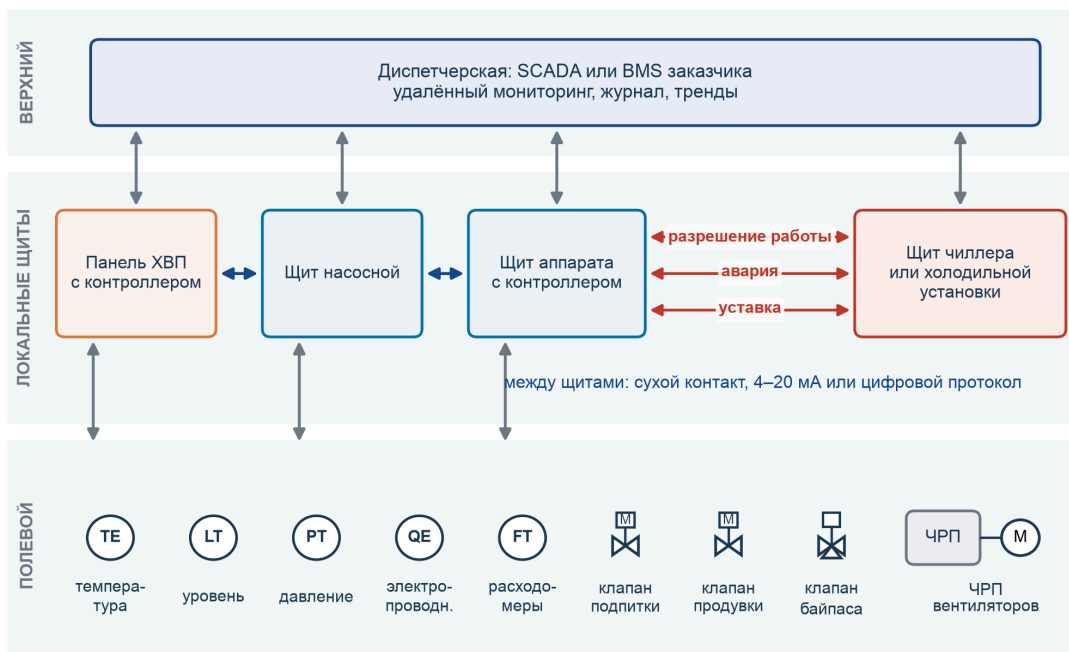
- ☐ Выброс выше соседних стен и парапетов; нет прямка, глухой стены и ограждения выше аппарата.
- ☐ Расстояния до стен и между аппаратами взяты из каталога модели (для VRX — таблица D1) или посчитаны методом конверта.
- ☐ Для группы из четырёх и более секций размещение отправлено на проверку заводу.
- ☐ Высота опор назначена с учётом снега; масса с жидкостью и динамика выданы конструктору.
- ☐ Выброс ИК и адиабатики не ближе 7,5 м к воздухозаборам вентиляции.
- ☐ Шум посчитан по ночной норме 45 дБА с запасом 3 дБ, меры перечислены.
- ☐ Зоны обслуживания, подход к вентиляторам и поддону нанесены на план.

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

9. Автоматика

Драйкулер, адиабатический драйкулер и испарительный конденсатор без описанного алгоритма — набор железа, который наладчик настроит по памяти. Проект заканчивается не на схеме, а на трёх документах для раздела автоматизации: перечне сигналов с точками установки, алгоритмах с уставками и перечне блокировок. Задачи автоматики: держать температуру жидкости (драйкулер) или давление конденсации (испарительный конденсатор), защищать оборудование, переключать режимы и сообщать об авариях. Уровней три: полевые приборы, локальный щит аппарата, диспетчерская — SCADA или система управления зданием (BMS, building management system). Проект должен сказать, какой щит главный и каким способом щиты обмениваются сигналами: сухой контакт, аналоговый сигнал 4–20 мА или цифровой протокол.

Рисунок 37 Уровни автоматики: полевые приборы, локальные щиты, диспетчерская. Между щитами — разрешение работы, авария, уставка



9.1. Что входит в поставку, а что заказывать опцией

Граница поставки по автоматике у трёх аппаратов разная, и её надо зафиксировать в опросном листе (раздел 3). Иначе на пусконаладке выясняется, что кабель между щитом и аппаратом не заказан никем.

Таблица 16 Автоматика в составе поставки NCT: стандарт и опции

Аппарат	В типовом предложении NCT	Опции
Драйкулер DC	Регулятор скорости вращения вентиляторов; датчики температуры для каждого контура; щит управления для установки в помещении с регулируемым климатом; кабельная проводка в стандартном исполнении	Щит управления и защиты; частотный преобразователь для установки в помещении вне основного щита; щит защиты вентиляторов; кнопка экстренного останова; ремонтные выключатели на каждый вентилятор; SCADA с протоколами Modbus и Ethernet

Аппарат	В типовом предложении NCT	Опции
Адиабатический драйкулер DC	То же, что у драйкулера, плюс автоматическое включение увлажнения по наружной температуре	Те же
Испарительный конденсатор (VRX, VAX, SVAX, HRX и e-серии)	Щита в базовой поставке нет	Щит управления с частотным преобразователем или без; датчик уровня в поддоне; ТЭН поддона; резервный электродвигатель («горячий резерв», для VRX); SCADA по Modbus RTU / Ethernet
ABO	По опросному листу	Щит управления с частотным регулированием; взрывозащита вентиляторов и электрооборудования; напряжение 380, 400 или 690 В

Щит ИК NCT (по каталогу) держит температуру (давление) конденсации, управляет ЧРП, запускает аппарат и насос орошения через сухой контакт, вращает вентиляторы по наработке, контролирует насос орошения, ведёт журнал аварий и графики; кнопка аварийного выключения — на щите и выносная.

ВНИМАНИЕ

Три ограничения для раздела ЭМ. Кабели между щитом и ИК в поставку не входят. Частотный преобразователь вне щита ставят не дальше 50 м от конденсатора. Стандартный щит драйкулера рассчитан на помещение с регулируемым климатом, а не на кровлю: место под него решают на стадии П.

9.2. Драйкулер: вентиляторы по температуре жидкости

Регулируемый параметр драйкулера — температура жидкости на выходе каждого контура: датчики на каждый контур входят в комплект. Контроллер сравнивает её с уставкой и меняет количество воздуха одним из трёх способов: ступенями (вентиляторы включаются по одному), частотным преобразователем (ЧРП, variable frequency drive), когда все вентиляторы меняют скорость вместе, или ЕС-двигателями (electronically commutated) со встроенным регулированием скорости. Замену вентиляторов на ЕС-модели NCT предлагает и как модернизацию работающих драйкулеров.

Почему все вентиляторы на малой скорости лучше, чем часть на полной. Мощность вентилятора растёт как куб скорости: $N_2 / N_1 = (n_2 / n_1)^3$. На 60 % скорости вентилятор берёт $0,6^3 = 21,6$ % мощности, на 50 % — 12,5 %.

Пример на цифрах. Условный драйкулер с установленной мощностью вентиляторов 16 кВт (подставьте из подбора), средняя потребность в воздухе за год — 60 % от номинала, 8000 часов работы.

1. Ступенями: средняя мощность пропорциональна доле работы, $16 \times 0,6 = 9,6$ кВт. 2. С ЧРП на 60 % скорости: $16 \times 0,216 = 3,5$ кВт. На потери в преобразователе и отличие реальной характеристики от закона куба прибавим 10 %: 3,8 кВт. 3. Разница: $9,6 - 3,8 = 5,8$ кВт. 4. За год: $5,8 \times 8000 \approx 46$ тыс. кВт·ч.

Итог: на круглогодичной нагрузке частотное регулирование снимает около 60 % энергии вентиляторов. Средняя загрузка 60 % — допущение: подставьте график нагрузки и тариф заказчика.

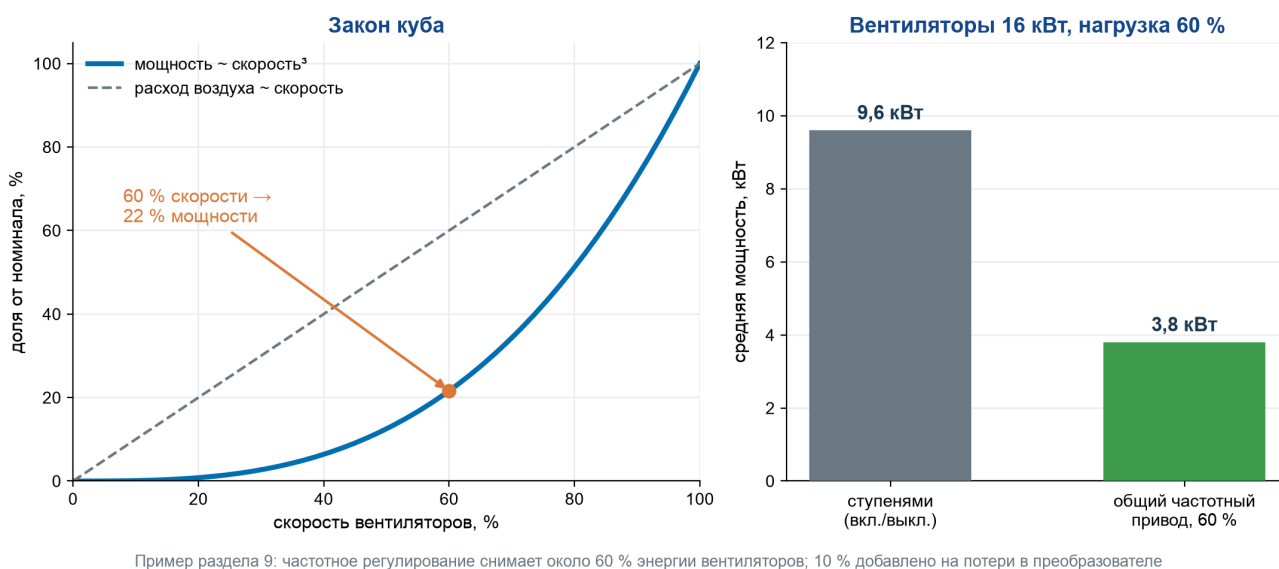
Ограничения, которые переносят в алгоритм. Минимальную скорость и допустимое число пусков в час берут из паспорта вентилятора. Для вентиляторов испарительных аппаратов производители дают ориентиры: частотный привод не ниже 30 % номинальной скорости (15 Гц при 50 Гц), не больше 6 пусков в час, пауза не меньше 15 с при переключении скоростей двухскоростного двигателя. Порядок при росте нагрузки: включить все вентиляторы и поднимать скорость вместе; при снижении — до минимальной скорости, затем отключение по одному.

Уставка снизу. Уставку нельзя опускать ниже того, что допускает потребитель. Если за драйкулером стоит конденсатор чиллера, нижний предел температуры жидкости — по паспорту машины; зимой холодный гликоль роняет давление конденсации. Когда вентиляторы уже стоят, а жидкость всё ещё холоднее допустимого, работает трёхходовой клапан в обход драйкулера с гистерезисом и минимальным временем работы в режиме. Схемы свободного охлаждения и их переключение подробно — в руководстве ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 7.

ВАЖНО

Воздух на выходе не горячее +55 °С. Вентиляторы драйкулера NCT рассчитаны на окружающий воздух от -35 до +55 °С, теплообменник — на жидкость от -35 до +80 °С. Если воздух на выходе из теплообменника нагреется выше +55 °С, вентиляторы могут выйти из строя. На горячих жидкостях проверьте температуру выходящего воздуха по подбору и не допускайте режима, при котором вентиляторы стоят, а горячая жидкость идёт через аппарат.

Рисунок 38 Регулирование вентиляторов драйкулера по температуре жидкости: ступени, общий частотный привод и закон куба



9.3. Адиабатика: когда включать увлажнение

Адиабатический драйкулер NCT переключает режимы сам, по температуре наружного воздуха: зимой и в межсезонье работает сухим, выше заданного порога автоматика включает увлажнение, и воздух на входе холодеет на 5–15 °С в зависимости от климата.

Что проектировщик задаёт в алгоритме:

- **порог включения по наружной температуре** и гистерезис выключения, чтобы увлажнение не щёлкало у границы;
- **условие по жидкости.** Разумно разрешать увлажнение, только когда вентиляторы уже на максимуме, а жидкость на выходе всё равно теплее уставки: тогда вода тратится ровно в те часы, ради которых адиабатику покупали;
- **запрет в мороз** и сезонное отключение линии воды со сливом наружных участков: адиабатика зимой не работает, а вода в трубе замёрзнет;
- **реакцию на отсутствие воды** — тревога в диспетчерскую, аппарат работает сухим.

Давление и расход воды на форсунки, требования к её качеству и состав сигналов насосной части адиабатики запрашивают у завода вместе с подбором. Эффект адиабатики в климате Москвы и Пе-

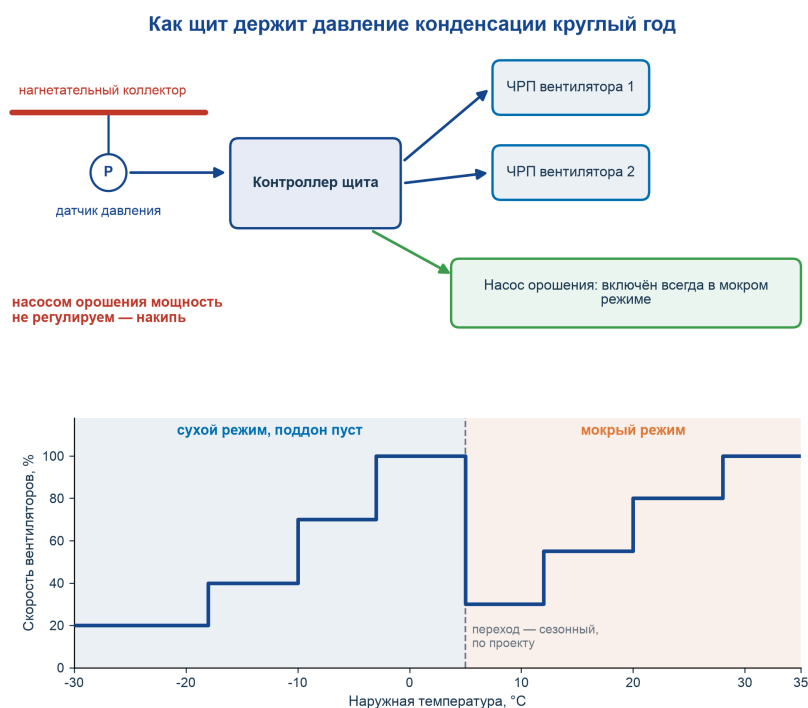
ВНИМАНИЕ

Адиабатика — запас, а не основа подбора. Если аппарат подобран впрытик в расчёте на увлажнение, а воду на объекте отключили, драйкулер останется без предохлаждения ровно в самый жаркий час. Для непрерывных процессов аппарат подбирают на расчётную сухую температуру, а адиабатику считают запасом.

9.4. Испарительный конденсатор: давление конденсации

Главный регулируемый параметр испарительного конденсатора (ИК) — давление конденсации. Датчик ставят на нагнетании компрессоров или на входе в ИК. Перечень датчиков холодильной части и защиту по высокому давлению делает проектировщик холодильной установки; щит ИК получает от неё уставку или поддерживает температуру (давление) конденсации сам.

Рисунок 39 Как щит держит давление конденсации круглый год: датчик на нагнетательном коллекторе, частотники вентиляторов, насос орошения в мокром режиме включён всегда



Три правила, которые переносят в алгоритм:

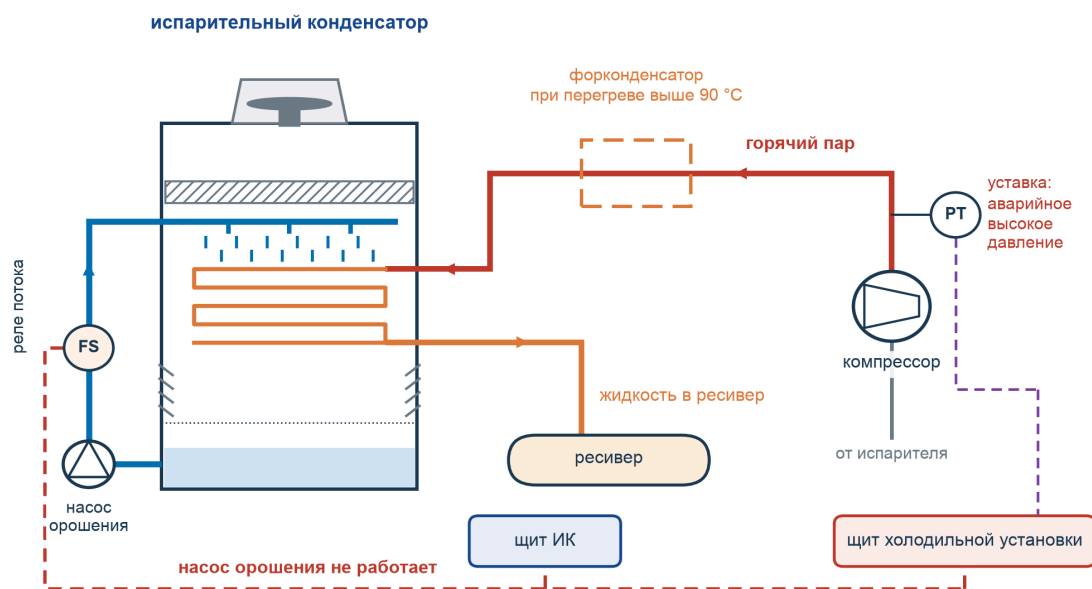
1. Сначала насос орошения, потом вентилятор. Так требуют производители испарительных аппаратов, и так закладывают в алгоритм щита. **2. Мощность регулируют вентиляторами, а не насосом.** Включать и выключать насос орошения ради регулирования нельзя: попеременное смачивание и высыхание змеевика оставляет на трубах соли, растёт накипь. Частотник на насос орошения ради регулирования тоже не ставят: распределение рассчитано на номинальный расход, при меньшем появятся сухие полосы. **3. Вентиляторы — ступенями или частотным приводом,** не ниже 30 % скорости и не больше 6 пусков в час. ИК NCT работают и в режиме «вкл/выкл» с устройством плавного пуска, и с частотно-каскадным управлением; у SVAX несколько осевых вентиляторов — больше ступеней.

Сухой режим. ИК NCT могут работать без орошения (ограничения — по заводу); е-серии с оребрённым змеевиком и фторконденсатор дают в сухом режиме больше мощности. Переход — сезон-

ный, по наружной температуре с большим гистерезисом или по календарю, с подтверждением оператора. Последовательность: остановить насос орошения → открыть автоматический дренаж поддона и стояка → перекрыть и слить подпитку → проверить концевым выключателем положение дренажного клапана → разрешить вентиляторы в сухом режиме. Весной — в обратном порядке, с промывкой поддона. Переключать мокрый и сухой режимы ради регулирования мощности нельзя по той же причине, что и насос: накипь. Пример из проекта аммиачной установки (раздел 12): при наружной температуре ниже -5°C подача воды прекращается и конденсаторы работают сухими.

Зима. Слишком низкое давление конденсации останавливает регулирующие станции испарителей. Его держат алгоритмом вентиляторов, а если не хватает — подтоплением, для которого нужен свободный объём ресивера (раздел 6). Защита воды орошения от замерзания — в разделе 7. Опция VRX «горячий резерв» сама включает резервный двигатель при отказе основного; в диспетчерскую идёт сигнал «работа на резервном двигателе»: аппарат работает, но резерва уже нет.

Рисунок 40 Сигнал «насос орошения не работает» идёт в два щита: ИК и холодильной установки



ВАЖНО

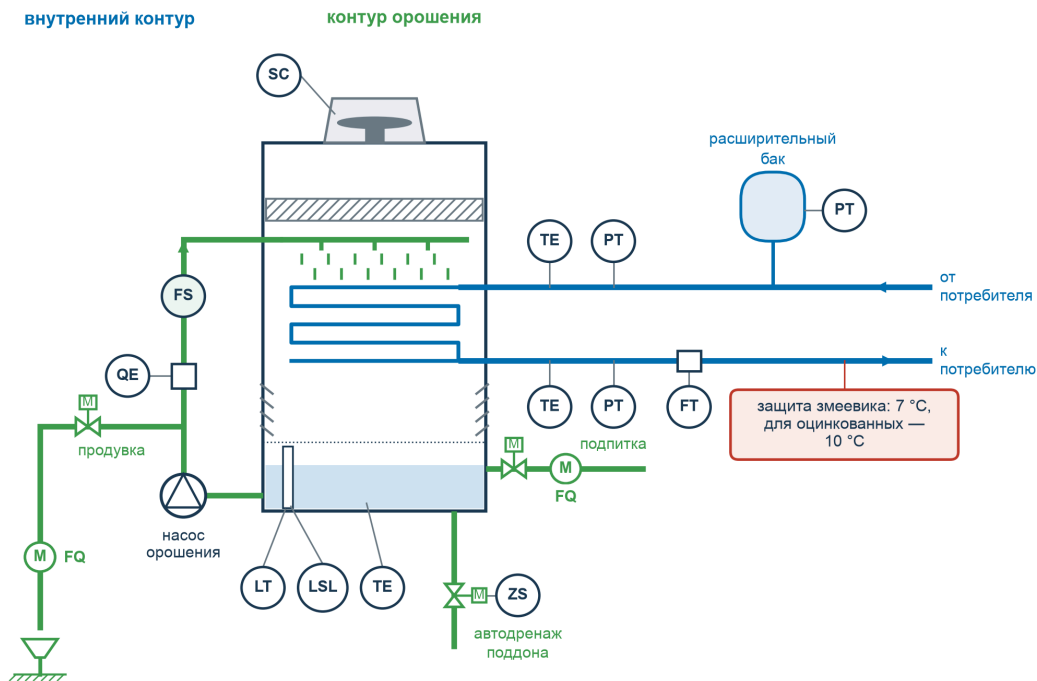
Сигнал насоса орошения — в щит холодильной установки. Остановился насос орошения — давление конденсации растёт за минуты, компрессоры уходят в аварию по высокому давлению. Сигнал «насос орошения не работает» берут с реле потока или давления на стояке, а не только с пускателя (пускатель включён, а вода не идёт при сорванном насосе), и заводят в щит холодильной установки, а не только в щит ИК.

9.5. Защиты и блокировки

Таблица 17 Защиты драйкулера и испарительного конденсатора

Угроза	Драйкулер, адиабатика	Испарительный конденсатор
Замерзание	Гликоль нужной концентрации; тревога по низкой температуре на выходе контура; адиабатика — слив линии воды на зиму	ТЭН поддона только при трёх условиях: поддон холоднее уставки, уровень выше аварийного минимума, насос стоит; блокировку по уровню дублируют в схеме питания
Уровень в поддоне	—	Датчик уровня: подпитка, защита насоса орошения от сухого хода, разрешение ТЭНа
Нет протока	Перепад давления или расход по контуру жидкости	Реле потока или давления на стояке орошения
Перегрев двигателей	Защита по току короткого замыкания и перегрузки; воздух на выходе не выше +55 °С	То же; при работе от ЧРП — двигатель с датчиком РТС; опция антиконденсационного подогрева двигателей
Вибрация	Вибровыключатель — по паспорту вентилятора	VRX с центробежным вентилятором реле предельной вибрации не требует
Аварийный останов	Кнопка экстренного останова, ремонтные выключатели на каждый вентилятор	Кнопка на щите и выносная кнопка аварийного выключения

Рисунок 41 КИП аппарата со змеевиком и орошением: внутренний контур и контур орошения



9.6. Сигналы в диспетчерскую

Протокол выбирают в опросном листе: Modbus RTU, Modbus TCP, 4–20 мА или сухие контакты; щиты и SCADA NCT работают по Modbus RTU и Ethernet. На стадии П фиксируют перечень сигналов, карту регистров берут у завода на стадии Р.

Таблица 18 Минимальный перечень сигналов аппарата

Сигнал	Тип	Откуда → куда	Зачем
Дистанционный пуск / разрешение работы	DI, сухой контакт	Чиллер, холодильная установка или диспетчерская → щит аппарата	Аппарат работает, когда работает потребитель
Пуск насоса (насосной группы)	DO, сухой контакт	Щит ИК → насосная	Насос раньше вентиляторов
Работа / общая авария	DO	Щит аппарата → щит холодильной установки, диспетчерская	Реакция до аварии компрессоров
Насос орошения не работает	DO	Щит ИК → щит холодильной установки	Давление конденсации вырастет за минуты
Низкий уровень, авария вентилятора, работа на резервном двигателе	DO	Щит аппарата → диспетчерская	Мощность снижена, резерва нет
Температура жидкости вход / выход по контурам	AI или шина	Датчики → контроллер → диспетчерская	Регулирование, контроль загрязнения
Давление (температура) конденсации вход / выход	AI или шина	Датчики → щит ИК	Главный регулируемый параметр
Режим: сухой / адиабатика / мокрый	DO или шина	Щит → диспетчерская	Расход воды, журнал
Положение дренажа поддона	DI, концевой выключатель	Клапан → щит ИК	Сухой режим только с пустым поддоном

Чек-лист раздела 9: автоматика

- ☐ Определён главный щит и способ обмена с чиллером, холодильной установкой и диспетчерской.
- ☐ Щит драйкулера стоит в помещении с регулируемым климатом, ЧРП ИК — не дальше 50 м от аппарата.
- ☐ Алгоритм вентиляторов задан с нижним пределом скорости и числом пусков по паспорту.
- ☐ Для драйкулера проверено, что воздух на выходе не горячее +55 °С.
- ☐ Порог включения адиабаты, гистерезис и зимний слив линии воды — в задании на автоматику.
- ☐ У ИК насос орошения не регулирует мощность, сухой режим — только с пустым поддоном.
- ☐ Сигнал «насос орошения не работает» с реле потока заведён в щит холодильной установки.
- ☐ Кабели между щитом и аппаратом есть в разделе ЭМ.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — задание на автоматику не выпускать.

10. Российские нормы

Норма не подбирает аппарат за вас: она говорит, где решение должно быть доказано. Работоспособность доказывают подбор, паспорт и расчёт; норма задаёт климат, шум, нагрузки и правила для сред под давлением и аммиака. Ниже — только документы, названные в материалах НСТ и в книгах серии. Номера пунктов не приводим намеренно: редакции меняются, перед ссылкой в записке сверяйте действующую.

10.1. Карта норм

Таблица 19 Нормы для проекта с драйкулером, АВО и испарительным конденсатором

Вопрос	Документ	Что из него берём
Климат	СП 131.13330 «Строительная климатология»	Летняя сухая температура — для драйкулера и АВО; мокрый термометр — для ИК и адиабатики; зимний минимум — для концентрации гликоля и зимнего комплекта
Шум у жилья	СанПиН 1.2.3685-21, табл. 5.35	На территории у жилых домов: днём (7–23 ч) 55 дБА эквивалентный и 70 дБА максимальный, ночью (23–7 ч) 45 и 60 дБА
Расчёт шума и защита	СП 51.13330.2011 «Защита от шума» с изменением № 4	Методика расчёта на территории, мероприятия; октавные уровни запрашивают у завода
Ветер и снег	СП 20.13330 (СНиП 2.01.07)	Нагрузки на раму и опоры; АВО НСТ рассчитаны на скоростной напор ветра IV географического района
Сейсмика	СП 14.13330 (СНиП II-7)	АВО НСТ — для районов до 7 баллов; для ИК сейсмостойкое исполнение заказывают в опросном листе с указанием уровня; балльность района — по шкале MSK-64
Климатическое исполнение	ГОСТ 15150	АВО НСТ выпускаются в исполнении У1 и УХЛ1
Оборудование под давлением	ТР ТС 032/2013	ИК НСТ соответствуют регламенту; АВО — среды под давлением до 32,0 МПа или под вакуумом не ниже 665 Па
Аммиачная холодильная установка	ФНП «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» (приказ Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500, действуют до 01.01.2027); 116-ФЗ	Требования к ИК и обвязке на аммиаке как части опасного производственного объекта
Фреоновая установка	ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012 (ISO 5149:1993)	Безопасность холодильных систем, количество хладагента, сбросы предохранительных клапанов
Легионелла	СанПиН 3.3686-21, гл. XLII	Испарительные конденсаторы — потенциально опасные системы, нужен периодический контроль на легионеллы
Санитарно-защитная зона	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03	СЗЗ устанавливают для предприятия в целом; сооружения оборотного водоснабжения в её границах размещать разрешено
Состав проекта	Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87	Разделы стадии П

Вопрос	Документ	Что из него берём
Оформление	ГОСТ Р 21.101-2020; ГОСТ 21.110-2013; ГОСТ 21.208-2013; ГОСТ 21.408-2013	Общие требования, спецификация, обозначения КИП, рабочая документация автоматизации с опросными листами
Арматура насосных групп ИК	ГОСТ 12820-80 (фланцы); ГОСТ 15180-86 (паронитовые прокладки)	Ответные фланцы и прокладки в спецификации

ФНП № 500 действуют до 01.01.2027; постановление № 87 по своему тексту действует до 01.09.2028. На дату выпуска проекта проверьте, какие акты их заменили. Для СП 131 в разных источниках встречаются редакции 2020 и 2025 годов — в записке указывайте действующую.

10.2. Что важно для каждого аппарата

Драйкулер и адиабатический драйкулер. Главная норма — климат. Драйкулер работает от сухого термометра, и расчётная летняя температура по СП 131 решает, какую жидкость он отдаст в жару. Норма даёт наружный воздух, а не воздух на входе в теплообменник: поправку на кровлю, солнце и тёплый выброс соседних машин проектировщик пишет сам и объясняет в записке (раздел 8). Второй вопрос — шум: если драйкулер работает и ночью, проверка идёт по ночной норме 45 дБА, а не по дневной. Ночной режим частотника в алгоритме автоматики — самый дешёвый способ добрать децибелы. Для адиабатики добавляется ввод воды с защитой водопровода от обратного потока по техническим условиям водоканала.

АВО. Это аппарат технологический, и нормы к нему приходят из технологии: среда, давление, взрывоопасность. В опросном листе заказчик указывает рабочее, расчётное и пробное давление, взрывоопасность среды (категорию и группу, например IIВ Т3), токсичность, коррозионно-активные компоненты и балльность района. Требования к документам на аппарат под давлением (паспорт, расчёт на прочность) прописывают в спецификации и в техническом задании на закупку сразу, а не после поставки.

Испарительный конденсатор на аммиаке. Здесь проект проходит по промышленной безопасности. Что закладывают:

- соответствие ИК ТР ТС 032/2013 — сертификат в составе документации на оборудование;
- сейсмостойкое и взрывозащищённое исполнение — по опросному листу; взрывозащита двигателей Ex d или Ex e для аммиачных зон, класс защиты двигателей IP54, IP55 или IP65;
- по требованию — рентгенографический контроль 100 % швов теплообменника;
- нормы на обвязку и уравнильные линии — раздел 6; ссылки в записке на ФНП № 500 и ТР ТС 032/2013 с датой редакции;
- электроснабжение: в проекте аммиачной установки из раздела 12 холодильная установка отнесена ко II категории, газоанализ — к I.

Испарительный конденсатор на фреоне. Обвязку и машинное отделение оформляют по ГОСТ EN 378-2014 и ГОСТ 12.2.233-2012: количество хладагента в системе — в записке, сбросы предохранительных клапанов — наружу, в безопасное место.

ВНИМАНИЕ

Легионелла и шум — не «мелочь для эксплуатации». Испарительный конденсатор распыляет воду, и СанПиН 3.3686-21 прямо относит его к потенциально опасным по легионелле системам. Экспертиза спросит точки отбора проб, отсутствие тупиков, автоматическую продувку и биоцидную обработку (раздел 7). Шумоглушение, добавленное после монтажа, почти невозможно: его закладывают на стадии П.

10.3. Что ставить в состав проекта

Таблица 20 Где решения по аппарату ложатся в проект

Что	Стадия П, раздел	Стадия Р, марка
Аппарат в холодоснабжении здания или ЦОД	5, подраздел отопления, вентиляции и кондиционирования	ХС, ОВ
Аппарат как часть технологии: охлаждение процесса, АВО, холодильная установка с ИК	6 «Технологические решения»	ТХ
Автоматизация, сигналы, алгоритмы	В составе подраздела 5 или раздела 6	АТХ, АХС
Питание вентиляторов, насосов, ТЭНов, греющего кабеля	5, подраздел «Система электроснабжения»	ЭМ
Подпитка и продувка ИК, вода на адиабатику	5, подразделы водоснабжения и водоотведения	ВК
Рамы, площадки, нагрузки на кровлю	4 «Конструктивные решения»	КЖ, КМ
Шум, санитарно-защитная зона	8 «Охрана окружающей среды»	—
Безопасная эксплуатация, легионелла	10	—

Уже на стадии П должны быть решены: тип и число аппаратов, их масса в рабочем состоянии и место установки, зимняя схема, перечень сигналов и алгоритмы на уровне функций, электрические нагрузки и шум на границе нормируемой территории. Формулировка «автоматика комплектно с оборудованием» без перечня функций — типовое замечание экспертизы.

Чек-лист раздела 10: нормы

- ☐ Летняя и зимняя температура взяты по СП 131 для города объекта, поправка на место установки объяснена.
- ☐ Шум проверен по ночной норме у жилья, октавные уровни запрошены у завода.
- ☐ Нагрузки от ветра, снега и сейсмике заданы конструктору с массой аппарата в рабочем состоянии.
- ☐ Для ИК на аммиаке в записке — ФНП № 500 и ТР ТС 032/2013 с датой редакции, исполнение по опросному листу.
- ☐ Для фреона — количество хладагента и сбросы предохранительных клапанов.
- ☐ Для ИК — мероприятия по легионелле по СанПиН 3.3686-21.
- ☐ Решения разложены по разделам стадии П и маркам стадии Р.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — проект на экспертизу не идёт.

11. Самопроверка

Этот раздел — для проверки готового проекта: главного инженера проекта, эксперта, нашего инженера. Сначала типичные ошибки, затем частые вопросы и сводный чек-лист по всей книге.

11.1. Типичные ошибки проекта

Таблица 21 Типичные ошибки проекта с драйкулером, адиабатикой и испарительным конденсатором

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
1	Драйкулер поставлен на технологию, которой летом нужна жидкость почти на уровне наружного воздуха	По данным отраслевых публикаций экономичный драйкулер отдаёт жидкость на 5,6–11 К теплее воздуха: при +30 °С это 36–41 °С, производство встаёт	Проверить летнюю точку по сухому термометру СП 131; не проходит — адиабатика с запасом, ИК или закрытая градирня (раздел 1)
2	Драйкулер на воде без гликоля	Остановилась циркуляция в мороз или пропало питание — теплообменник размораживается за часы	Гликоль по зимнему минимуму СП 131, контроль концентрации рефрактометром, тревога по низкой температуре на выходе (раздел 7)
3	Гликолевый контур доливают водой	Контур 10 м ³ на 40 % после долива 2 м ³ воды: $40 \times 10 / 12 = 33,3$ %, защита ушла на несколько градусов вверх	Доливать только раствором той же концентрации, вести журнал доливов
4	Климат по СП 131 без поправки на место	На кровле у стены аппарат дышит своим выбросом, мощность в жару падает	Поправка на место установки в записке, расстояния по разделу 8
5	Горячая жидкость без проверки воздуха на выходе	Воздух выше +55 °С — выход вентиляторов из строя	Проверить по подбору; вентиляторы не останавливать, пока через аппарат идёт горячая жидкость
6	Адиабатика закрывает дефицит мощности подбора	Отключили воду — в жару аппарат не держит точку	Подбор на сухую расчётную температуру, адиабатика — запас; линию воды на зиму сливать
7	Насос орошения ИК включают и выключают ради регулирования, сухой режим — с водой в поддоне	Накипь на змеевике, замёрзший поддон	Насос работает постоянно, регулируют вентиляторами; сухой режим только со сливом
8	ЧРП вентиляторов без нижнего предела	Перегрев двигателя, неравномерный воздух	Не ниже 30 % скорости, не больше 6 пусков в час, точнее — по паспорту
9	ТЭН поддона без блокировки по уровню	Сгоревший ТЭН	ТЭН только при уровне выше минимума и стоящем насосе, блокировка продублирована в питании
10	Сигнал насоса орошения — только с пускателя и только в щит ИК	Насос сорван, вода не идёт, компрессоры уходят в аварию по высокому давлению	Реле потока на стояке, сигнал в щит холодильной установки
11	Уравнительная линия ресивера подключена к выходам ИК, опуски «сколько поместилось»	Жидкость стоит в змеевике, давление конденсации растёт летом	Опуск не меньше 1,5 м для аммиака и 3,7 м для фреонов, уравнительная — в нагнетательный коллектор (раздел 6)
12	Перегрев пара на входе в ИК выше 90 °С без форконденсатора	Перегрев не снят, сильнее парение	Форконденсатор в опросном листе

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
13	В КР взята транспортная масса	Замечание экспертизы или усиление кровли на стройке	Масса в рабочем состоянии: у VRX2-5 из раздела 12 это 11 838 кг против 9 246 кг транспортной
14	«Автоматика комплектно с оборудованием»	Замечание экспертизы, щиты не видят друг друга на пусконаладке	Перечень сигналов, алгоритмы и блокировки на стадии П (раздел 9)

11.2. Частые вопросы

Какую температуру даст драйкулер в жару? Ориентир — на 5,6–11 К выше наружного воздуха по сухому термометру; ближе — только за счёт большой поверхности. Точную цифру даёт подбор по опросному листу на ваш расход, жидкость и климат.

Можно ли заливать в драйкулер воду вместо гликоля? В наших условиях — практически нет. NCT рекомендует незамерзающие жидкости: они исключают размораживание, когда процесс зимой простаивает. Вода допустима только с автоматическим дренажом, резервным питанием насоса и дополнительным нагревом — и это решение вы обосновываете сами.

Сколько воды берёт адиабатика? Только на испарение и только в жаркие часы, несопоставимо меньше, чем испарительная градирня той же мощности. Расход на ваш климат даёт подбор: в технико-коммерческих предложениях цифры нет, её запрашивают у завода.

Может ли испарительный конденсатор работать зимой без воды? Да, ИК NCT работают в сухом режиме; е-серии с оребрённым змеевиком и опция форконденсатора дают в нём больше мощности. Ограничения сухого режима на ваш режим уточняются на заводе. В проекте из раздела 12 вода отключается ниже -5°C .

Какая вода нужна для орошения ИК? В опросном листе аммиачного ИК рекомендованы общая жёсткость меньше 3 мг-экв/л и pH 6,5–8,5. Водоподготовку подбирают по анализу воды; система NCT W2C дозирует ингибитор и биоцид и управляет продувкой по электропроводности (раздел 7).

Можно ли поставить драйкулер на охлаждающую воду АБХМ? Только по подбору Thermax на более тёплую воду и со снижением мощности: номинал АБХМ — $29,4^{\circ}\text{C}$ на входе, а драйкулер в жару такую воду не даст. Подробно — ЭХ-АРМ001-RU.

Как связать щит аппарата с диспетчерской? Modbus RTU, Modbus TCP, 4–20 мА или сухие контакты — выбор в опросном листе. Щиты и SCADA NCT работают по Modbus RTU и Ethernet (раздел 9.6).

11.3. Сводный чек-лист проекта

Выбор и исходные данные

- ☐ Аппарат выбран по физике: драйкулер — от сухого термометра, ИК и адиабатика — от мокрого; граница с закрытой градирней проверена (раздел 1).
- ☐ Опросный лист заполнен полностью: мощность, жидкость и концентрация, расход, температуры, климат, для ИК — хладагент, перегрев, переохлаждение, для АВО — свойства и давления среды (раздел 3).
- ☐ Летняя и зимняя температуры — по СП 131 для города объекта, с поправкой на место установки.

Расчёт и схема

- ☐ Подбор сделан на расчётную точку, запас не держится на адиабатике (раздел 4).
- ☐ Поправки на гликоль учтены в расходе и мощности.

- ☐ Схема включения выбрана и описана, свободное охлаждение — с гистерезисом переходов (раздел 5).

Обязка

- ☐ Драйкулер: воздухоудаление в верхней точке, дренажи, запорная арматура на каждый теплообменник по необходимости (раздел 6).
- ☐ ИК: опуски посчитаны, уравнивательная линия ресивера — в нагнетательный коллектор, отметки «выход ИК — ресивер» на листе.
- ☐ Форконденсатор заложен, если перегрев на входе выше 90 °С.

Зима и вода

- ☐ Концентрация гликоля — по зимнему минимуму, контроль рефрактометром в регламенте (раздел 7).
- ☐ ИК: выносной поддон или ТЭН с блокировкой по уровню, греющий кабель, сухой режим только со сливом.
- ☐ Водоподготовка ИК по анализу воды, продувка по электропроводности, мероприятия по легионелле.

Размещение

- ☐ Расстояния до стен и соседних машин исключают рециркуляцию; шум проверен по ночной норме (раздел 8).
- ☐ Масса в рабочем состоянии передана конструктору вместе с ветром, снегом и сейсмикой.

Автоматика

- ☐ Главный щит определён, щит драйкулера — в помещении, ЧРП ИК — не дальше 50 м (раздел 9).
- ☐ Алгоритм вентиляторов, порог адиабатики, сухой режим ИК описаны с уставками.
- ☐ Защиты по таблице раздела 9.5 и перечень сигналов по таблице раздела 9.6 — в задании на автоматику.

Нормы и документы

- ☐ Ссылки на нормы — с датой редакции; для аммиака — ФНП № 500 и ТР ТС 032/2013, исполнение по опросному листу (раздел 10).
- ☐ Решения разложены по разделам стадии П и маркам стадии Р.
- ☐ Проект прошёл по таблице 11.1, каждая строка отмечена.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — проект на экспертизу не отдавать. Сомневаетесь в пункте — пришлите раздел нашему инженеру: проверку проектов с оборудованием NCT мы делаем бесплатно, даже если проектирует сторонняя организация.

12. Наши объекты

В этом разделе — только то, что подтверждено нашими опубликованными материалами: референс-листом, каталогами, технико-коммерческими предложениями и кейсами. Где тип аппарата или задача на объекте в источнике не раскрыты, мы так и пишем. Градирни и чиллеры, даже если они стоят рядом, сюда не включены: это тема руководств ЭХ-АРМ002-RU и ЭХ-АРМ003-RU.

12.1. Испарительные конденсаторы

Таблица 22 Испарительные конденсаторы NCT: объекты с описанной задачей

Отрасль	Объект	Оборудование	Задача
Пищевая: переработка и глубокая заморозка картофеля	Завод ООО «Домфри», Воронежская обл. (строящийся завод, подбор NCT в составе проекта 2026 года)	2 × VRX2-5-CUG-T, гладкие трубы с горячим цинкованием, центробежный вентилятор 45 кВт, насос орошения 4 кВт	Сторона высокого давления аммиачной установки (R717) на 2 512 кВт холода: конденсация при 35 °С и мокром термометре 22 °С (обеспеченность 98 %), площадка на кровле на отм. +10,700, работа 365 дней в году, зима Воронежской области до –30 °С
Холодильное хранение	Морозильный склад «Волна», Сахалинская обл.	Испарительный конденсатор NCT	Отвод тепла конденсации холодильной установки склада

Что в проекте «Домфри» полезно проектировщику.

- Испарительные конденсаторы стоят прямо в контуре высокого давления — без промежуточного водяного контура и отдельных градирен для охлаждения конденсаторов.
- Опции подобраны под зиму и обслуживание: выпуск из поддона вниз (вода не застаивается зимой), двигатель с датчиком РТС для работы от частотного преобразователя, водоподготовка W2C со стартовым набором реагентов, комплект ЗИП.
- Зимой ниже –5 °С подача воды прекращается, конденсаторы работают сухими (раздел 9.4).
- В ходе проектирования вместимость установки по аммиаку уточнили с 6 600 до 7 860 кг — пришлось пересчитать предохранительные клапаны и таблицу заправки. Цифру заправки фиксируйте до расчёта клапанов.
- Масса конденсатора: транспортная 9 246 кг, эксплуатационная 11 838 кг — в КР идёт вторая.

Рисунок 42 Испарительный конденсатор NCT на морозильном складе, Сахалинская обл.



12.2. Драйкулеры

Драйкулеры NCT тип DC работают на объектах ниже. Конкретная задача по каждому объекту в открытых материалах не раскрыта; по запросу расскажем о близком к вашему случае подробнее.

Таблица 23 Драйкулеры NCT тип DC: где работают

Отрасль	Объект (регион)	Оборудование
Нефтегаз	Предприятие комплексного оснащения нефтедобывающих объектов (Пермская обл.); буровая платформа (Сахалинская обл.)	Драйкулеры DC
Энергетика	Энергетическое предприятие (Республика Саха (Якутия))	Драйкулеры DC
Химия	Производство жидких пестицидов (Республика Татарстан); химическое предприятие (Иркутская обл.); производитель азотных удобрений и аммиака (Ставропольский край); производитель смазочных материалов (Ленинградская обл.)	Драйкулеры DC
Металлургия	Завод по производству алюминия (Иркутская обл.)	Драйкулеры DC
Полимеры и стекло	Производство полимерных труб, завод пластмассовых профилей (Омская обл.); завод пластиковых фиттингов (Московская обл.); стекольный завод (Вологодская обл.); производитель искусственных сапфиров (Белгородская обл.)	Драйкулеры DC
Деревообработка	Лесозаготовительная и деревообрабатывающая компания, деревоперерабатывающий комбинат (Вологодская обл.); завод МДФ (Калужская обл.)	Драйкулеры DC
Машиностроение и электротехника	Завод криогенного и углекислотного оборудования, завод индукционного оборудования, завод дорожно-строительных машин и вагонов (Свердловская обл.); завод слаботочных реле (Ленинградская обл.); завод кабельной продукции (Орловская обл.)	Драйкулеры DC

Отрасль	Объект (регион)	Оборудование
Пищевая промышленность и напитки	Мясные консервы и колбасы (Владимирская обл.); кондитерские производства (Московская обл., Республика Татарстан); минеральная вода (Кабардино-Балкарская Республика); алкогольные и безалкогольные напитки (Воронежская обл.); корма для животных (Курская обл.)	Драйкулеры DC
ЦОД, связь, ИТ	Центр обработки данных и интегратор ИТ-решений (Московская обл.); предприятие сотовой связи (Нижегородская обл.)	Драйкулеры DC
Оборона, наука, госзаказ	Оборонное предприятие (Архангельская обл.); научно-исследовательское предприятие (Орловская обл.); государственное предприятие (Новая Земля)	Драйкулеры DC
Торговля и сервис	Торговый центр, предприятие по ремонту и продаже автомобилей (Ленинградская обл.)	Драйкулеры DC

Список говорит о двух вещах. Первая — география: от Якутии, Архангельской области и Новой Земли до юга; драйкулер на гликоле работает там, где воде на улице зимой не выжить. Вторая — отрасли, где жидкость нельзя смешивать с атмосферой или нет воды на подпитку: химия, пищевые производства, ЦОД, удалённые площадки вроде буровой платформы.

Рисунок 43 Ряд V-образных драйкулеров NCT на кровле производства жидких пестицидов, Республика Татарстан



12.3. Адиабатические драйкулеры и АВО

Адиабатические драйкулеры. Отдельного перечня объектов с адиабатическими драйкулерами NCT в наших опубликованных материалах нет. Не будем выдавать за референции объекты обычных драйкулеров. Если для решения вам нужен действующий объект с адиабатикой, запросите — проверим, есть ли такой в вашем регионе.

АВО. Производство аппаратов воздушного охлаждения — новое направление «Энергии Холода», опубликованных объектов с АВО NCT пока нет. Линейка — горизонтальные АВГ, зигзагообразные АВЗ, малопоточные АВМ и дельтаобразные АВД, подбор по опросному листу (разделы 2 и 3).

12.4. Смежные проекты «под ключ»

Кейсы Тверского литейного завода (ООО «КСК ТЛЗ») и завода «АСТОН-Поволжье» — проекты на градирнях, поэтому в таблицы выше они не входят. Для ТЛЗ мы выпустили комплект «под ключ» — разделы ХС, АХС, КЖ, КМ, ЭМ, АС и смету: открытая градирня, чиллер с выносным воздушным конденсатором, который доохлаждает воду печей при наружном воздухе выше 25 °С, насосная группа, водоподготовка и автоматика. Так же ложатся в документацию и решения разделов 9 и 10 этой книги.

Следующий шаг

Пришлите опросный лист и исходные данные из раздела 3. Мы подберём аппарат на ваш режим и выдадим лист подбора, 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

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

Словарь терминов

Термин	Что значит
Драйкулер, сухой охладитель (dry cooler)	Оребренный теплообменник с вентиляторами: охлаждает жидкость наружным воздухом в закрытом контуре, без контакта с водой
Адиабатический драйкулер (adiabatic cooler)	Драйкулер, который в жару распыляет воду в воздух перед теплообменником; сам теплообменник остаётся сухим
Адиабатическое предохлаждение (adiabatic pre-cooling)	Охлаждение воздуха испарением воды перед теплообменником; предел — температура мокрого термометра
ABO	Аппарат воздушного охлаждения: технологический теплообменник для газов, паров и жидкостей под давлением в нефтегазе и химии
Испарительный конденсатор, ИК	Аппарат, в котором хладагент конденсируется в змеевике, орошаемом водой и обдуваемом воздухом
е-исполнение	Испарительный конденсатор с оребренным змеевиком; в холод работает сухим, без орошения
Сухой термометр (dry-bulb)	Температура воздуха по обычному термометру; предел для драйкулера и ABO
Мокрый термометр (wet-bulb)	Предел охлаждения воздуха испарением воды; предел для испарительного конденсатора и градирни
Недоохлаждение (approach)	На сколько жидкость на выходе теплее воздуха на входе в аппарат
THR (total heat of rejection)	Полная тепловая нагрузка на конденсатор: холодопроизводительность плюс мощность компрессоров и прочее подведенное тепло
Форконденсатор (desuperheater)	Сухой оребренный теплообменник перед змеевиком ИК, снимает перегрев пара хладагента
Капельный унос (drift)	Вынос капель воды орошения с воздухом
Сифонный опуск (trapped drop leg)	Вертикальный участок сливной линии ИК: столб жидкости выталкивает конденсат из змеевика против потери давления
Гидрозатвор (liquid seal)	Петля внизу опуски: не пускает газ из ресивера или соседнего ИК в выходной коллектор
Уравнительная линия (equalizer line)	Соединяет ресивер с нагнетанием, чтобы давление в ресивере было как на входе в ИК
Воздухоотделитель (purger)	Аппарат, удаляющий неконденсирующиеся газы из точек отбора по одной
Выносной бак орошения	Бак и насос орошения в тёплом помещении; поддон ИК сухой, вода стекает в бак самотёком
Рециркуляция (recirculation)	Возврат выброса аппарата на его же вход; повышает температуру воздуха на входе
Метод конверта	Расчёт отступа воздухозаборника от стены по допустимой скорости воздуха в зазоре
Частотный преобразователь, ЧПП (variable frequency drive)	Меняет скорость двигателя через частоту питания
ЕС-двигатель (electronically commutated)	Двигатель со встроенным электронным регулированием скорости
Закон куба	Мощность вентилятора пропорциональна кубу скорости
Сухой режим	Работа испарительного конденсатора без орошения, с пустым поддоном

Список литературы

1. «Энергия Холода». Драйкулеры NCT тип DC — каталог.
2. «Энергия Холода». Драйкулеры NCT типа DC — презентация, 2026.
3. «Энергия Холода». Драйкулеры NCT тип DC и вспомогательное оборудование; Драйкулеры NCT тип DC с адиабатическим охлаждением — технико-коммерческие предложения, 2026.
4. «Энергия Холода». Аппараты воздушного охлаждения (ABO) — листовка.
5. «Энергия Холода». Испарительные конденсаторы NCT — буклет, февраль 2026; Испарительные конденсаторы тип VRX — мини-буклет.
6. «Энергия Холода». Испарительные конденсаторы NCT VRX, e-VRX, VAX, e-VAX, SVAX, HRX, e-HRX — технико-коммерческие предложения, 2026.
7. Опросные листы: сухой охладитель; ABO (14.04.2026); испарительный конденсатор NCT (2026); аммиачный испарительный конденсатор.
8. «Энергия Холода». Референс-лист NCT, 2026.
9. ASHRAE Handbook — Refrigeration, 2022.
10. ASHRAE. Climatic Design Conditions, 2021.
11. ANSI/ASHRAE Standard 62.1.
12. СП 131.13330 «Строительная климатология».
13. СП 51.13330.2011 «Защита от шума».
14. СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия»; СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах».
15. ГОСТ 15150. Исполнения для различных климатических районов.
16. ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением».
17. ФНП «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» (приказ Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500).
18. ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012.
19. СанПиН 1.2.3685-21; СанПиН 3.3686-21; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.
20. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
21. «Энергия Холода». Градирни NCT. Проектирование и обвязка. Руководство для инженеров ЭХ-АРМ002-RU, 2026.
22. «Энергия Холода». Чиллеры NCT. Проектирование и обвязка. Руководство для инженеров ЭХ-АРМ003-RU, 2026.



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

Санкт-Петербург · nc-t.ru · colden.ru

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

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

ЭХ-АРМ005-RU (октябрь 2026). Материал для проектировщиков, распространяется свободно. Рабочие параметры для проекта — по техническому предложению на конкретную модель.