

Руководство для инженеров

Чиллеры NCT

Проектирование и обвязка

Воздушные, с выносным и водяным конденсатором:
подбор, расчёты, схемы, обвязка, свободное охлаждение,
автоматика, нормы



Содержание

Введение	8
1. Когда какой чиллер	9
2. Серии чиллеров NCT	16
3. Исходные данные	23
4. Расчёты с примерами	32
5. Схемы холодоснабжения	45
6. Обвязка испарителя и конденсатора	59
7. Свободное охлаждение и адиабатика	69
8. Выносной конденсатор	77
9. Размещение	85
10. Зима	92
11. Автоматика	98
12. Российские нормы	104
13. Самопроверка	110
14. Наши объекты	114
Словарь терминов	116
Список литературы	117

Список рисунков

Рисунок 1	Три вопроса к объекту: что питает машину, где она стоит, куда уходит тепло ...	9
Рисунок 2	Выбор схемы отвода тепла от водяного конденсатора: вода, водоподготовка, зима	11
Рисунок 3	Сколько тепла уходит в градирню на 1 кВт холода: компрессорные машины и абсорбционные	13
Рисунок 4	Серии чиллеров NCT: воздушные моноблоки, блок под выносной конденсатор, машины с водяным конденсатором	16
Рисунок 5	Моноблоки NCT на заводе перед отгрузкой: щит управления на торце, конденсаторы сверху	21
Рисунок 6	Размер машин задаёт пик, а число машин и бак — провал нагрузки ночью	25
Рисунок 7	Граница поставки: только машина, машина с насосной группой, холодильный центр	29
Рисунок 8	Каждая стадия проекта стартует со своим набором исходных данных	29
Рисунок 9	Поправки на гликоль к холодопроизводительности и перепаду давления: пропиленгликоль (ПП) и этиленгликоль (ЭГ) 30–50 % при 7 °C на выходе	34
Рисунок 10	Расчётное кольцо вторичного контура: номера участков соответствуют строкам таблицы	36
Рисунок 11	Соппротивление колец: трубы — четверть, остальное — оборудование	37
Рисунок 12	Пуски в час от эффективного объёма контура при гистерезисе 2 K: каждое удвоение ступени удваивает нужный объём	39
Рисунок 13	Врезка буферного бака: работает только сквозной поток	40
Рисунок 14	Мембранный бак 500 л: работает только между преднастройкой и конечным давлением	41
Рисунок 15	Постоянный расход с трёхходовыми клапанами: расход через машину не меняется, а перепад температур падает вместе с нагрузкой	46
Рисунок 16	Первичный–вторичный контур: перемычка забирает разницу расходов, её направление говорит автоматике, сколько машин включить	47
Рисунок 17	Перемычка в двух режимах: при избытке поток идёт вниз, при дефиците — вверх, и потребители получают подмес обратки	48
Рисунок 18	Гидрострелка: функция перемычки плюс отделение воздуха и шлама	49
Рисунок 19	Переменный первичный расход: байпас на минимальный расход крупнейшей машины и медленные клапаны на машинах	51
Рисунок 20	Две машины по 500 кВт параллельно и последовательно: последовательная пара меняет расход на перепад	52
Рисунок 21	Насос на машину или общий коллектор N+1: общий коллектор даёт резерв и забирает простоту	53
Рисунок 22	Насосная группа 2 + 1: у каждого насоса свои затворы, фильтр, вставки и обратный клапан — любой можно вынуть, не останавливая контур	54
Рисунок 23	Синдром низкого перепада на станции 1500 кВт: ради расхода включается лишняя машина, насосы работают вдвое больше	55
Рисунок 24	Развязка пластинчатым теплообменником: контуры разделены ценой пары градусов недогрева	56

Рисунок 25	Дерево выбора схемы холодоснабжения: четыре вопроса, после которых выбор можно защитить цифрами	57
Рисунок 26	Узел подключения испарителя чиллера NCT: обратка 12 °С входит снизу, подача 7 °С уходит сверху	59
Рисунок 27	Узел испарителя с приборами по ГОСТ 21.208: каждому кружку соответствует гильза или бобышка на трубе	61
Рисунок 28	Чиллер водяного охлаждения NCT с открытой градирней NCT: синий контур несёт холод потребителю, оранжевый уносит тепло конденсатора на градирню	62
Рисунок 29	Подбор диаметра по удельным потерям: на размер меньше — и потери растут впятеро	64
Рисунок 30	Неподвижная опора делит удлинение, поворот или компенсатор его принимает	65
Рисунок 31	Непроклеенный шов превращает изоляцию в губку: пар проходит к холодной стенке и конденсируется внутри	66
Рисунок 32	Вибрацию режут три раза: вставкой у насоса, пружинным подвесом рядом и гильзой в стене	67
Рисунок 33	Три схемы свободного охлаждения: теплообменник перед испарителем, градирня с пластинчатым теплообменником, драйкулер конденсатора с переключением на теплообменник холодной воды	70
Рисунок 34	Чиллер водяного охлаждения NCT с драйкулером NCT: холодная вода 7/12 °С, гликолевый контур конденсатора 40/45 °С со своим баком и подпиткой	71
Рисунок 35	Режимы фрикулинга по наружной температуре для графиков 7/12 и 12/18 °С при $\Delta = 7 \text{ K}$	72
Рисунок 36	Компрессорно-испарительный блок NCT в помещении и выносной конденсатор NCT на кровле: газ около 70 °С идёт вверх через петли, жидкость около 40 °С спускается через ресивер, фильтр-осушитель, смотровое стекло и соленоид	78
Рисунок 37	Двойной стояк нагнетания: на полной нагрузке газ идёт по обоим стоякам, на 25 % сифон большого стояка залит маслом и газ идёт только по малому	80
Рисунок 38	Блок на отметке 0 и конденсатор на кровле +11 м: четыре маслоподъёмные петли, обратная петля, уклон 15 мм/м, узел жидкостной линии около 1 м у блока	81
Рисунок 39	Конденсатор выше машины — петли на нагнетании, жидкость вниз; конденсатор ниже — газ вниз без петель, жидкость вверх теряет 0,13 K на метр (R410A)	82
Рисунок 40	Помещение с блоком NCSA: заправка против объёма, детектор у пола, вытяжка, сброс предохранительного клапана наружу	83
Рисунок 41	Минимальные отступы воздушного чиллера NCT NASA/NCSA: 1,5 м со стороны щита управления, 1 м с остальных сторон (по руководству по эксплуатации)	85
Рисунок 42	Доля передаваемой вибрации от отношения частот: левее $\sqrt{2}$ изолятор усиливает вибрацию, пружина гасит её на порядок лучше резины	87
Рисунок 43	Затухание шума с расстоянием на примере градирни на кровле; для воздушного чиллера метод тот же	88
Рисунок 44	План зала из двух машин: зоны выемки испарителей и конденсаторов, насосы ниже оси аппаратов, щиты со своей зоной обслуживания	89

<i>Рисунок 45</i>	Уличный участок: кабель с алюминиевой лентой по нижней образующей, каучук 32 мм, металлический кожух, датчик сверху вдали от кабеля, щит обогрева с сигналом неисправности в диспетчерскую	94
<i>Рисунок 46</i>	Уклоны, воздушники и дренажи: каждая верхняя точка — воздухоотводчик, каждая нижняя — дренажный кран	95
<i>Рисунок 47</i>	Как читается код прибора: величина, уточнение, функция, предел	100
<i>Рисунок 48</i>	Функциональная схема автоматизации объекта 1000 кВт: два чиллера, градирня, вторичный контур с частотным регулированием; ЩАУ — щит автоматического управления станцией	101
<i>Рисунок 49</i>	Ввод и вывод второй машины станции 2 × 500 кВт: зона гистерезиса 400–450 кВт	102
<i>Рисунок 50</i>	Стадия П доказывает, стадия Р показывает: в Р не остаётся ни одного решения «по месту»	105
<i>Рисунок 51</i>	Путь проекта обвязки через согласования: проверка производителя экспертизой не заменяется	106
<i>Рисунок 52</i>	Погрешность пары датчиков переходит в погрешность холода; на малом перепаде дешёвый датчик съедает всю точность учёта	108

Список таблиц

Таблица 1	Чиллер с водяным конденсатором: градирня, закрытая градирня или драйкулер	12
Таблица 2	Таблица выбора	14
Таблица 3	NASA — спиральные компрессоры, воздушный конденсатор	17
Таблица 4	Расчёт обвязки NASA: пример	18
Таблица 5	NWCV — центробежный безмасляный компрессор с инвертором	20
Таблица 6	Расчёт обвязки NWCV 300-1: пример	20
Таблица 7	Сводная таблица серий	20
Таблица 8	Карта исходных данных	23
Таблица 9	Температуры воды или гликоля и перепад	25
Таблица 10	Расчётные параметры Москвы и Петербурга	26
Таблица 11	Опросный лист NCT: что должно быть заполнено	30
Таблица 12	Холодопроизводительность, запас и число машин	32
Таблица 13	Свойства раствора гликоля по концентрации	33
Таблица 14	Поправки на гликоль к мощности и перепаду давления	33
Таблица 15	Насосы и гидравлика	36
Таблица 16	Минимальный объём системы и буферный бак	38
Таблица 17	Расширительный бак и давление	41
Таблица 18	Сквозной пример расчёта	43
Таблица 19	Первичный–вторичный контур с перемычкой	48
Таблица 20	Резерв насосов закладывают так, чтобы отказ одного насоса не снимал холод с объекта.	53
Таблица 21	Как выбрать схему	57
Таблица 22	Узел испарителя элемент за элементом	59
Таблица 23	КИП на узле испарителя	61
Таблица 24	Узел водяного конденсатора	62
Таблица 25	Трубы: диаметр, давление, компенсация, уклоны, изоляция, вибрация	66
Таблица 26	Элементы узла: зачем и типовая ошибка	67
Таблица 27	Как устроено свободное охлаждение	70
Таблица 28	Расшифровка номеров: чиллер и драйкулер	71
Таблица 29	Уставки и логика для задания на автоматику.	72
Таблица 30	Часы ниже заданного мокрого термометра: Москва и Петербург	73
Таблица 31	Распределение часов по режимам свободного охлаждения	73
Таблица 32	Длина фреоновой трассы и решение	77
Таблица 33	Расшифровка номеров: выносной конденсатор	78
Таблица 34	Потери в линиях: считаем в кельвинах	79
Таблица 35	Масло: скорость в стояке, петли, двойной стояк	79
Таблица 36	Заправка и ресивер	82

Таблица 37	Воздушный чиллер на площадке и кровле	86
Таблица 38	Защита от замерзания: выбрать одно из трёх	92
Таблица 39	Гликоль и испаритель	92
Таблица 40	Обогрев и слив наружных труб	93
Таблица 41	Исполнения воздушных чиллеров по наружной температуре	95
Таблица 42	Способы работы воздушного чиллера на морозе	96
Таблица 43	Три уровня: щит чиллера, щит холодоцентра, диспетчеризация	98
Таблица 44	КИП на узлах обвязки	98
Таблица 45	Карта норм: документ — что из него берём	104
Таблица 46	Состав альбома стадии Р по обвязке	105
Таблица 47	Стандарты испытаний холодильных машин	108
Таблица 48	Типичные ошибки проекта	110
Таблица 49	Наши объекты	114

К ЧИТАТЕЛЮ

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

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

- **проектировщик раздела ХС или ОВ** — всё руководство, в первую очередь разделы 3–8 и чек-листы;
- **ГИП и главный инженер заказчика** — разделы 1–3 (какой чиллер нужен и что для него задать) и раздел 13 (типовые ошибки);
- **проектировщик тепломеханики и насосных** — разделы 4–6 и 10;
- **проектировщик автоматики (АХС, АТХ)** — разделы 7 и 11;
- **конструктор и архитектор площадки** — раздел 9;
- **эксперт и технический надзор** — разделы 12 и 13.

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

- **разделы 1–2** — решить, какой чиллер нужен и какой серии;
- **раздел 3** — собрать исходные данные, без которых чиллер не подобрать;
- **раздел 4** — посчитать мощность, расходы, насосы, объём системы, баки, тепло на конденсаторе;
- **разделы 5–6** — выбрать схему холодоснабжения и нарисовать обвязку;
- **разделы 7–8** — свободное охлаждение, адиабатика и фреоновые трассы выносного конденсатора;
- **разделы 9–11** — размещение, зима и автоматика;
- **разделы 12–13** — российские нормы, типовые ошибки, частые вопросы и итоговый чек-лист проверки проекта.

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

ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем проектировщику. «Энергия Холода» — российский производитель чиллеров, градирен, насосных групп и автоматики NCT в Санкт-Петербурге. Проектировщику заказчика бесплатно: подбор чиллера, основные технические решения (ОТР), схемы обвязки и проверка раздела до экспертизы.

1. Когда какой чиллер

Чиллер (chiller) — парокомпрессионная холодильная машина: компрессор, испаритель, конденсатор и расширительный клапан на одной раме. Испаритель забирает тепло у воды или гликоля потребителя, конденсатор выбрасывает его наружу. Тепло конденсатора больше холода на работу компрессора, и куда его девать — главный вопрос выбора машины.

Отводят тепло тремя способами: воздухом прямо через ребристый конденсатор на машине, воздухом через выносной конденсатор на кровле или водой через водяной конденсатор и наружный аппарат — градирню или сухой охладитель (драйкулер). От этого зависят место установки, зимняя схема, расход электричества и состав обвязки.

Для первой прикидки хватает трёх вопросов: что питает машину, где она стоит и работает ли система зимой.

Рисунок 1 Три вопроса к объекту: что питает машину, где она стоит, куда уходит тепло



Три вопроса отсекают шесть машин из семи ещё до опросного листа

1.1. Сначала: нужен ли вообще чиллер

Если технологии нужна вода $+25...+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, компрессор часто не нужен: воду охладит градирня испарением. У градирни есть природный предел — температура мокрого термометра (wet-bulb temperature). Ниже неё вода не опустится, на практике хорошая градирня выдаёт мокрый термометр плюс 3–4 К.

Отсюда простое правило. Возьмите расчётный мокрый термометр города объекта по СП 131.13330 «Строительная климатология» и прибавьте 4 К. Нужная температура воды выше этой цифры — смотрите на градирню. Ниже — нужен чиллер. Наш каталог формулирует то же правило на цифрах средней полосы: если требуется охлаждение ниже $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, градирня не подходит.

Ещё два случая, когда каталог прямо рекомендует чиллер:

- **нет воды на подпитку градирни** — у чиллера герметичный контур, воду он не трогает;

- **есть ограничение по шуму и вибрации** — у чиллера своя компоновка и исполнения со сниженным шумом.

ПРИМЕЧАНИЕ

Чаще всего правильный ответ — оба аппарата. Летом градирня снимает тепло с конденсатора чиллера, и машина тратит меньше электричества, чем с воздушным охлаждением. Зимой и в межсезонье та же градирня или драйкулер даёт холодную воду без компрессора — это свободное охлаждение (раздел 7). Градирни подробно — в руководстве серии ЭХ-АРМ002-RU «Градирни NCT».

1.2. Чиллер с воздушным конденсатором (моноблок)

Всё в одном корпусе: компрессоры, испаритель, конденсатор с вентиляторами, щит, по заказу насосный модуль. Машина стоит на улице, на площадке или на кровле. В нашей линейке это серии NASA (спиральные компрессоры) и NARA (винтовые), подробно — в разделе 2.

Когда выбирать. Воды для градирни нет или её не хотят тратить, машинного зала нет, мощность от десятков до сотен киловатт. Обязка самая короткая: только контур холодной воды потребителя. Контур отвода тепла в проекте нет — он внутри машины.

Что требует машина от площадки:

- свободный обдув конденсатора: ограждение вокруг не выше самой машины, без подсоса собственного горячего воздуха;
- несущая способность площадки или кровли под рабочую массу машины;
- решение на зиму: гликоль в контуре или обогрев и слив уличных участков;
- запас по шуму у окон и границы участка — вентиляторы работают снаружи.

Чем платят. Воздушный конденсатор конденсирует на 10–15 К выше температуры воздуха: моноблок NASA при +30 °C на улице конденсирует при 46 °C. Водяная машина на градирне в тот же день конденсирует около 35 °C. Каждый лишний градус конденсации — лишние киловатты компрессора (расчёт в 1.4).

Климат. Базовый рабочий диапазон NASA по каталогу — от +10 до +35 °C наружного воздуха. С обогревом щита и регулятором скорости вентиляторов — от –5 °C, с полным зимним комплектом (регуляторы скорости вентиляторов, давления конденсации и давления в ресивере, ресивер, обогрев щита) — от –30 °C.

ВНИМАНИЕ

Моноблок с воздушным конденсатором не ставят в цех без вентиляции. Машина будет дуть горячим воздухом сама в себя: летом перегрев и отключение по высокому давлению, зимой — обмерзание. Если машина должна стоять в помещении, нужен выносной или водяной конденсатор.

1.3. Чиллер с выносным конденсатором

Компрессорно-испарительный блок стоит в помещении, конденсатор — на кровле или площадке. Между ними медная фреоновая трасса: нагнетание вверх, жидкость вниз. Такую машину называют чиллером без конденсатора (condenserless chiller). У нас это серии NCSA (спиральные) и NCRA (винтовые).

Когда выбирать. Машина должна стоять внутри, воды для градирни нет, а гликолевый контур на улицу не хотят. Плюс схемы — вода потребителя не выходит на мороз, на улице только хлад-

агент. Каталог NCSA называет и плюс по надёжности: горячие элементы машины отделены от конденсатора.

Что ограничивает схему — длина и высота трассы. По руководству по эксплуатации NCT при трассе до 15 м диаметры труб равны диаметрам патрубков машины, дальше нужен расчёт. На практике фреоновые трассы редко удаётся сделать длиннее 30–50 м, тогда как водяные бывают в сотни метров и длиннее. Машины этих серий приходят под азотом, хладагент заправляют на объекте после сборки трассы, а массу заправки и диаметры считают по длине, перепаду высот и месту установки блока и конденсатора. Проектирование трассы — в разделе 8.

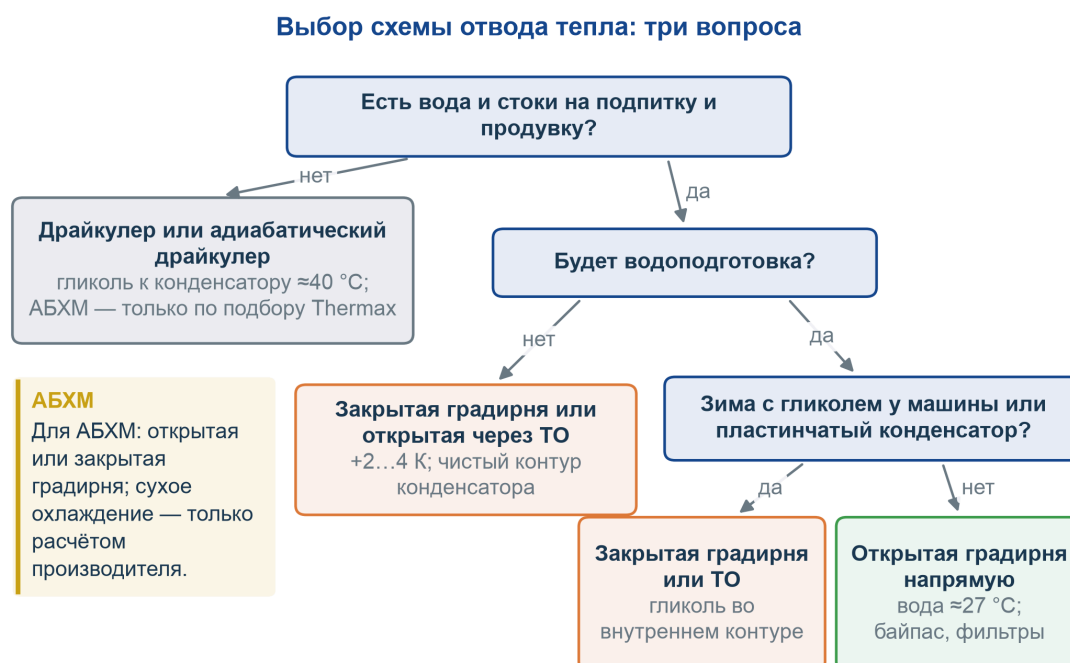
Хладагент в помещении. Блок с хладагентом стоит в здании, поэтому к помещению применяют ГОСТ EN 378-2014 «Системы холодильные и тепловые насосы» и ГОСТ 12.2.233-2012: детектор утечки там, где скапливается хладагент, сигнализация, вытяжка с выбросом наружу, сбросные линии предохранительных клапанов наружу. Требования выписывают из действующей редакции стандарта (раздел 12).

Климат. Выносной конденсатор в уличном исполнении по каталогу NCSA работает от +10 до +40 °С; диапазон расширяют опциями, конкретные цифры зависят от выбранного конденсаторного блока. Для круглогодичной работы зимний комплект обязателен (раздел 10).

1.4. Чиллер с водяным конденсатором: градирня, закрытая градирня или драйкулер

Машина стоит в машинном зале, конденсатор у неё кожухотрубный или пластинчатый, и тепло уходит водой или гликолем к наружному аппарату. В нашей линейке это NWSA (спиральные), NWRA (винтовые) и NWCV (центробежные безмасляные). Снаружи только градирня или драйкулер, поэтому шума на улице меньше.

Рисунок 2 Выбор схемы отвода тепла от водяного конденсатора: вода, водоподготовка, зима



- **Открытая градирня напрямую** — самая холодная вода к конденсатору (по схемам серии около 27 °С) и самая низкая конденсация. Цена: подпитка, продувка, водоподготовка, фильтр

на всасе насосов, байпас градирни на зиму и пуск.

- **Закрытая градирня** — чистая жидкость в змеевике, орошение снаружи. Стенка змеевика добавляет перепад, и вода к конденсатору на пару кельвинов теплее, чем у открытой градирни той же площади. Открытая градирня через промежуточный теплообменник даёт тот же чистый контур, но теряет 2–4 К. Внутренний контур можно заправить гликолем и часть года работать без орошения.
- **Драйкулер, сухой охладитель (dry cooler)** — гликоль в оребрённых трубках, воды нет совсем. Охлаждает только к сухому термометру, поэтому гликоль к конденсатору летом приходит заметно теплее; типовой режим на наших схемах — 40/45 °С. Драйкулеры NCT серии DC начинаются от 300 кВт.
- **Адиабатический драйкулер (adiabatic cooler)** — драйкулер, у которого в жару воздух перед теплообменником увлажняют. По нашим ТКП адиабатическое предохлаждение снижает температуру воздуха на входе на 5–15 К в зависимости от климата, а жидкость в контуре по-прежнему не касается воздуха.

ВНИМАНИЕ

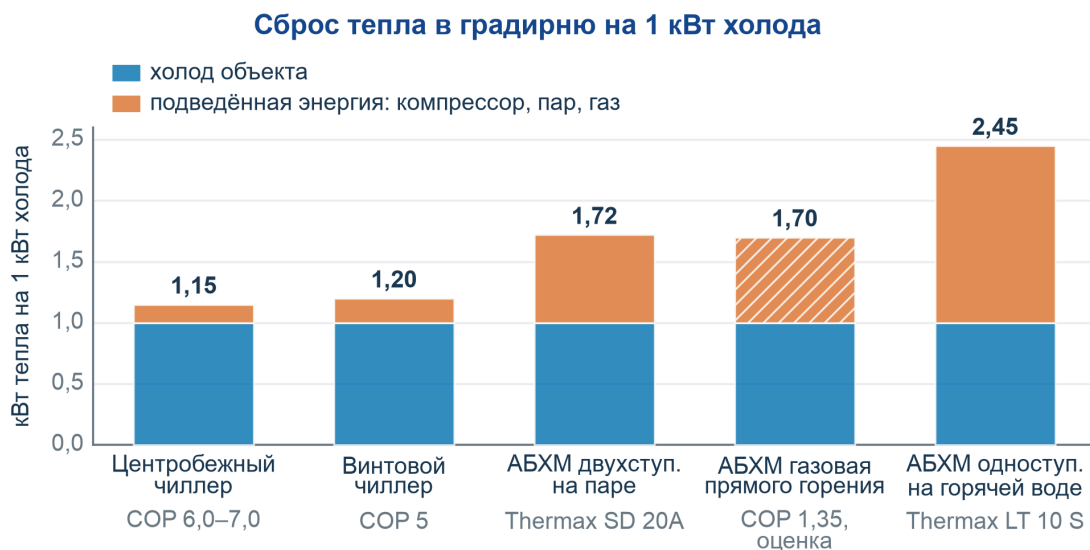
На наружный аппарат идёт не холод, а тепло конденсации. $Q_{\text{к}} = Q_0 \times (1 + 1/\text{COP})$, где COP — холодильный коэффициент машины (coefficient of performance). При COP 5 это 1,2 кВт тепла на 1 кВт холода. Аппарат, подобранный «по холоду», окажется меньше нужного.

Расчёт: что даёт водяная схема против воздушной. Холод 1000 кВт, работа 3000 ч в год.

Таблица 1 Чиллер с водяным конденсатором: градирня, закрытая градирня или драйкулер

Шаг	Формула и допущение	Результат
Компрессоры водяной машины	COP 5: 1000 / 5	200 кВт
Тепло на градирню	$Q_{\text{к}} = 1000 \times (1 + 1/5)$	1200 кВт
Расход воды градирни при Δt 5 К	$G = Q_{\text{к}} / (1,163 \times \Delta t) = 1200 / 5,815$	206 м³/ч
Разница температур конденсации	воздушный 46 °С – водяной 35 °С	11 К
Приrost потребления компрессора	по данным производителей 1,8–4,0 % на 1 К; берём 3 % × 11	≈ 33 %
Компрессоры воздушной машины	$200 \times 1,33$	≈ 266 кВт
Разница за год	$66 \text{ кВт} \times 3000 \text{ ч}$	≈ 198 000 кВт·ч

Из разницы вычитают воду, водоподготовку, насосы и вентиляторы градирни. Порядок подтверждают каталоги: у моноблоков NASA коэффициент EER в режиме 12/7 °С при +35 °С воздуха — 2,38–2,68, у центробежных NWCV на воде градирни 30 °С — COP 6,01–6,85. Условия разные, но разрыв виден сразу. Точный расчёт под ваш тариф и график нагрузки делаем при подборе (раздел 3).



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.

1.5. Граница с абсорбционной машиной (АБХМ)

Абсорбционная бромистолитиевая машина делает холод из тепла — пара, горячей воды, газа или выхлопа газопоршневой установки. Электричество ей нужно только на насосы раствора и автоматику: 5–10 кВт на 1 МВт холода против примерно 200–300 кВт у компрессорного чиллера той же мощности.

АБХМ стоит рассматривать вместо чиллера, если на площадке есть бросовое тепло от 80 °С, не хватает электрической мощности, есть газ с лимитом и дорогое электричество, нужна тригенерация, а нагрузка длинная — 3000–4000 ч в год и больше.

Компрессорный чиллер остаётся единственным вариантом, если:

- источника тепла нет и не планируется;
- холода нужно меньше 100 кВт;
- нужна температура ниже –5 °С — это граница бромистолитиевой абсорбции;
- объект работает меньше 2000 ч в год;
- нет места под градирню: АБХМ выбрасывает 1,7–2,45 кВт тепла на 1 кВт холода против 1,2 у чиллера и требует мокрой градирни, сухое охлаждение для неё — только по расчёту производителя.

Подробнее — в руководстве серии ЭХ-АРМ001-RU «Как запроектировать АБХМ».

1.6. Граница со свободным охлаждением

Свободное охлаждение, фрикулинг (free cooling) — холод без компрессора, когда на улице холоднее нужной воды. Это не отдельная машина, а теплообменник, гликоль и клапаны, которые пускают холод улицы к воде раньше компрессора. Его встраивают в моноблок, добавляют к чиллеру

с выносным конденсатором (каталог NCSA прямо называет эту возможность) или получают от драйкулера и градирни водяной схемы.

Порог включения считают просто: 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. Холодная вода 7/12 °С, недоохлаждение драйкулера 5 К, теплообменника 2 К (учебные цифры, рабочие — из подбора), $\Delta = 7$ К. Частичный фрикулинг начинается ниже $12 - 7 = 5$ °С, полный — ниже $7 - 7 = 0$ °С. При графике 12/18 °С пороги поднимаются на 6 К: частичный ниже 11 °С, полный ниже 5 °С.

Вывод: при круглогодичной нагрузке и воде +12 °С и теплее фрикулинг закладывают сразу, вместе с типом машины и гликолем. Подробно — в разделе 7.

1.7. Таблица выбора

Таблица 2 Таблица выбора

Критерий	Воздушный моноблок (NASA, NARA)	Выносной конденсатор (NCSA, NCRA)	Водяной + открытая градирня (NWSA, NWRA, NWCV)	Водяной + драйкулер или закрытая градирня
Мощность в нашей линейке	NASA 69–621 кВт; винтовые NARA — крупнее, по подбору	NCSA 69–621 кВт; NCRA — по подбору	NWSA 69–621, NWRA 436–1412, NWCV 229–7033 кВт	Те же машины, что слева
Климат и зима	База +10...+35 °С; с зимним комплектом до –30 °С; контур на улице — гликоль или слив	Конденсатор +10...+40 °С, зимой — комплект регулирования конденсации; вода потребителя внутри	Градирне нужен зимний режим и байпас; машина в тёплом зале	Гликоль на улице, без льда и брызг; лучший вариант для круглого года
Вода на площадке	Не нужна	Не нужна	Нужны подпитка, продувка, водоподготовка	Драйкулер — не нужна; закрытая градирня — только на орошение
Место	Улица, площадка, кровля; свободный обдув	Блок в помещении, конденсатор на кровле; трасса до 15 м без расчёта, дальше расчёт	Машинный зал + площадка под градирню	Машинный зал + площадка под аппарат, место для гликоля
Шум снаружи	Вентиляторы машины; есть исполнения со сниженным шумом	Только вентиляторы конденсатора	Вентиляторы градирни	Вентиляторы драйкулера
Эффективность летом	Ниже всех: конденсация на 10–15 К выше воздуха	Как у моноблока плюс потери в трассе	Выше всех: конденсация около 35 °С	Между ними; адиабатика поднимает её в жару
Хладагент в помещении	Нет — машина снаружи	Да — блок в здании, требования ГОСТ EN 378-2014	Да — машина в зале	Да — машина в зале
Фрикулинг	Встроенный, по заказу	Возможен	Через градирню и теплообменник	Драйкулер переключают с конденсатора на теплообменник

Критерий	Воздушный моноблок (NASA, NARA)	Выносной конденсатор (NCSA, NCRA)	Водяной + открытая градирня (NWSA, NWRA, NWCV)	Водяной + драйкулер или закрытая градирня
Главный риск	Зима без зимнего комплекта, жара	Длина трассы, возврат масла, пайка	Качество воды, холодная вода зимой	Разбавление гликоля, зимний слив

ПРИМЕЧАНИЕ

Как пользоваться таблицей. Сначала отсекают по воде и месту — это жёсткие условия. Потом по зиме. Эффективность сравнивают между оставшимися вариантами в рублях эксплуатации за 15–20 лет, а не по цене машины. Если два варианта проходят все жёсткие условия, пришлите оба в опросном листе — мы посчитаем оба.

Чек-лист раздела 1: тип машины выбран

- ☐ Нужная температура воды сравнена с расчётным мокрым термометром города плюс 4 К: градирня без чиллера не подходит.
- ☐ Выяснено, есть ли на площадке тепло от 80 °С, газ с лимитом или дефицит электрической мощности; АБХМ рассмотрена или обоснованно отброшена.
- ☐ Определено место машины: улица, кровля или помещение, с несущей способностью и путём заноса.
- ☐ Определено, есть ли вода и стоки на подпитку и продувку и будет ли водоподготовка.
- ☐ Записано, работает ли система зимой, и минимальная температура наружного воздуха.
- ☐ Для выносного конденсатора известны длина трассы и перепад высот между блоком и конденсатором.
- ☐ Для машины в помещении учтены требования ГОСТ EN 378-2014 к помещению с хладагентом.
- ☐ Для круглогодичной нагрузки оценены пороги фрикулинга по графику холодной воды.
- ☐ Тепло на наружный аппарат посчитано как $Q_0 \times (1 + 1/COP)$, а не по холоду.

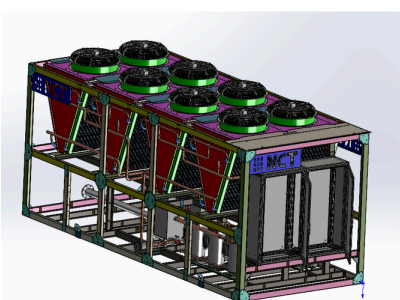
Правило прохода: все пункты отмечены, и выбранная схема по таблице 1.7 не упирается ни в одно жёсткое условие — воду, место, зиму.

2. Серии чиллеров NCT

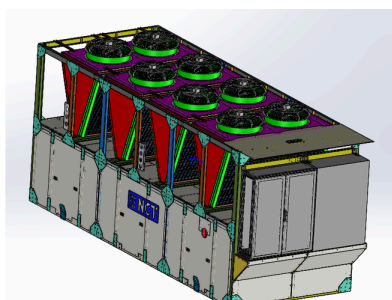
Чиллеры NCT — заводские машины на пространственной раме: компрессоры, испаритель, конденсатор (кроме серий с выносным конденсатором), щит управления с контроллером. На объекте остаётся завести кабель в щит и подключить трубы потребителя. Производство — в Санкт-Петербурге, собственный конструкторский отдел подстраивает машину под проём, коридор, шум и энергопотребление.

Серию узнают по маркировке. Первая буква N — NCT. Вторая — способ охлаждения конденсатора: A — воздушный на машине, W — водяной, C — выносной воздушный. Третья — компрессор: S — спиральный (scroll), R — винтовой (screw), C — центробежный (centrifugal).

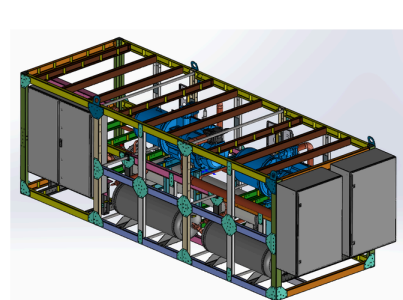
Рисунок 4 Серии чиллеров NCT: воздушные моноблоки, блок под выносной конденсатор, машины с водяным конденсатором



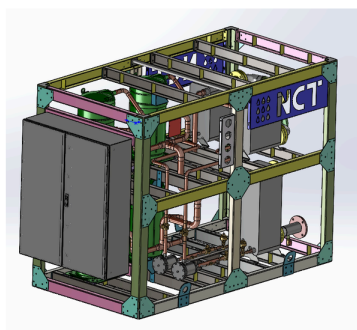
NASA — спиральные, воздушный конденсатор



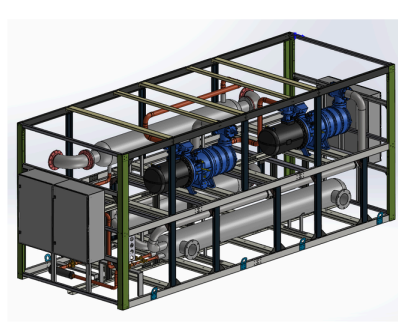
NARA — винтовые, воздушный конденсатор



NCRA — винтовые, под выносной конденсатор



NWSA — спиральные, водяной конденсатор



NWRA — винтовые, водяной конденсатор

2.1. Что общего у всех серий

- **Поставка.** Машины приходят под азотом. Заправка хладагентом на заводе — по запросу; у серий с выносным конденсатором заправка только на объекте, после сборки фреоновой трассы.
- **Температуры.** Холодоноситель на выходе — от -15 до $+20$ °C с разными хладагентами, на входе в машину — от -5 до $+25$ °C. Ниже $+6$ °C работают только на этилен- или пропиленгликоле нужной концентрации.
- **Контурь.** Один или два независимых фреоновых контура; два контура дают частичный резерв.
- **Регулирование.** Спиральные и винтовые серии регулируют мощность ступенями: включением и отключением компрессоров, у винтовых — ещё и устройствами регулирования на самом компрессоре. Число ступеней указывается в ТКП на конкретную модель. NWCV регулируется бесступенчато инвертором.

- **Расширительный вентиль.** Электронный расширительный вентиль (ЭРВ) держит температуру холодоносителя и подачу хладагента по нагрузке; в ТКП он идёт опцией.
- **Корпус.** Оцинкованная сталь с порошковой окраской RAL 7035, по запросу — цвет заказчика или нержавеющая сталь.

Опции, которые встречаются во всех шаблонах ТКП 2026: насосный модуль с запорной арматурой, резервный насос, фильтр на линии холодоносителя, комплект зимнего пуска, плавная регулировка конденсации, линейный ресивер, электронный расширительный вентиль, виброопоры, ответные фланцы гидравлического контура. Для машин с выносным конденсатором или драйкулером — щит управления конденсатором или драйкулером для установки в помещении.

Опции по каталогу (для NASA и NCSA; для NWSA и NWRA — без регулирования вентиляторов): отсечные сервисные вентили, запасные вставки фильтра-осушителя, обогрев щита управления (для работы ниже +10 °C), обогрев испарителя (от размораживания при остановке), антикоррозионное покрытие, закрытие съёмными панелями, мультиметр для контроля энергопотребления и питающей сети. По отдельному запросу каталог называет исполнения с функцией теплового насоса, взрывозащищённые чиллеры и дополнительную шумоизоляцию.

2.2. NASA — спиральные компрессоры, воздушный конденсатор

Моноблок «воздух — вода» для наружной установки. Несколько спиральных компрессоров с подогревателем картера, обратными клапанами и уравнивающей линией масла; микроканальный конденсатор с малой заправкой хладагента; осевые вентиляторы. Хладагент — R410A.

Таблица 3 NASA — спиральные компрессоры, воздушный конденсатор

Параметр	Значение по каталогу 2026
Модели	11: от NASA23 до NASA128
Холод в режиме 12/7 °C при +35 °C воздуха	74–436 кВт
Холод во всех режимах каталога	69 кВт (10/5 °C, +35 °C) — 621 кВт (20/15 °C, +30 °C)
EER в режиме 12/7 °C, +35 °C	2,38–2,68
Компрессоры	2, 3, 4 или 6 шт.
Контуры	один у младших моделей, два у старших
Вентиляторы	2–8 шт.
Габарит, не более (Ш×Д×В)	от 1340×2800×2750 до 2378×5410×2750 мм
Масса пустой машины	1062–3102 кг
Наружный воздух	+10...+35 °C; с опциями –5...+35 °C или –30...+35 °C

Адиабатическое исполнение. Для жарких площадок NASA и NARA выпускают с адиабатическим предохлаждением воздуха перед конденсатором. Вода увлажняет воздух, он охлаждается к мокрому термометру — по ТКП на 5–15 К в зависимости от климата. Машина держит холодопроизводительность в самые жаркие часы, а воды тратит значительно меньше, чем мокрая градирня сопоставимой мощности. Воду на увлажнение готовят, иначе соли осядут на теплообменнике.

Расчёт: подбор NASA по режиму. Нужно 300 кВт холода, вода 12/7 °C, расчётный воздух +35 °C.

Таблица 4 Расчёт обвязки NASA: пример

Шаг	Как считаем	Результат
Модель	Первая по каталогу с холодом ≥ 300 кВт в режиме 12/7/35	NASA91: 309 кВт
Потребление компрессоров	По каталогу	101 кВт
Расход воды через испаритель	$G = 309 / (1,163 \times 5)$	53 м ³ /ч
Шаг регулирования	6 компрессоров, одна ступень $\approx 1/6$	≈ 52 кВт
Тот же объект, но вода 10/5 °C	NASA91 в режиме 10/5/35 даёт 287 кВт < 300	нужна NASA105: 331 кВт

Вывод: на 2 К холоднее вода — и машина на типоразмер больше. Поэтому мощность сравнивают только в вашей рабочей точке, а не по строке каталога. Окончательную модель даёт подбор под режим.

2.3. NARA — винтовые компрессоры, воздушный конденсатор

Моноблок модульного типа для наружной установки на большие мощности. Несколько винтовых компрессоров с устройствами регулирования производительности на самом компрессоре, осевые вентиляторы. Хладагент по каталогу оборудования NCT 2026 — R404A или R134a.

Модульность здесь практическая: машины объединяют в группу, модуль можно заменить или добавить, когда растёт нагрузка. Выпускается и в адиабатическом исполнении (см. 2.2).

Типовой таблицы мощностей у NARA нет: машину собирают под режим заказчика. Ориентир даёт смежная линейка винтовых моноблоков NCT с маркировкой NARV (каталог 2026): 332–1694 кВт, хладагент R134a, затапливаемый кожухотрубный испаритель, экономайзер, бесступенчатое регулирование 25–100 % у машин с одним компрессором и 12,5–100 % — с двумя, наружный воздух +5...+45 °C, вода на выходе +4...+20 °C. Буква D в конце марки NARV означает компрессор с инвертором.

ПРИМЕЧАНИЕ

Наш пример. На кондитерской фабрике NARA136 охлаждает до –2 °C на 320 кВт. Отрицательная температура холодоносителя у воздушного моноблока — обычная задача, если гликоль и испаритель подобраны под неё.

2.4. NCSA и NCRA — блок под выносной конденсатор

Компрессорно-испарительный блок для установки в помещении; конденсатор и его щит управления выбирают отдельно по каталогу конденсаторов NCT. NCSA — спиральные компрессоры, NCRA — винтовые.

NCSA. 11 моделей, холод в тех же режимах, что у NASA: 69–621 кВт (12/7 °C при +35 °C — 74–436 кВт), хладагент R410A, 2–6 компрессоров. Линейный ресивер увеличенного объёма компенсирует уровень хладагента при разных температурах и нагрузке — это главное отличие от моноблока. Младшие модели NCSA23–NCSA43 — в габарите 820×1670×1205 мм и массой 480–550 кг, старшие — до 1470×3020×1860 мм и 1470 кг. Выносной конденсатор в уличном исполнении работает от +10 до +40 °C, опции расширяют диапазон.

NCRA. Винтовые компрессоры, та же схема с выносным воздушным конденсатором. Типовой таблицы мощностей нет — подбор под режим.

Что важно проектировщику. Обе серии поставляются под азотом, хладагент заправляют на объекте после сборки трассы. Расчёт массы заправки и диаметров труб делаем после того, как получим длину трассы, перепад высот и места установки блока и конденсатора. Граница поставки — патрубки блока и конденсатора; трасса, маслоподъёмные петли и уклоны — проект (раздел 8).

ВНИМАНИЕ

Фреоновая трасса не бывает «по месту». Диаметры, петли и дозаправку масла и хладагента считают до монтажа. Пайка — только с продувкой азотом: в нашей практике были машины, которые не удалось ввести в эксплуатацию из-за окарины внутри фреонового контура.

2.5. NWSA и NWRA — водяной конденсатор

Машины для установки в помещении. Тепло уходит водой или гликолем на градирню, закрытую градирню или драйкулер (см. 1.4). Снаружи нет вентиляторов машины, поэтому каталог относит эти серии к решениям для городских площадок с ограничением по шуму.

NWSA — спиральные компрессоры, пластинчатый конденсатор, R410A. 11 моделей, холод 69–621 кВт по сетке режимов каталога (74–436 кВт в режиме 12/7 °C), 2–6 компрессоров, один или два контура. Компактные: младшие модели — 960×1810×1460 мм и 520 кг, старшие — до 1470×3020×1860 мм и 1470 кг. Пластинчатый конденсатор чувствителен к грязи, поэтому с открытой градирней его ставят через промежуточный теплообменник или на закрытый контур.

NWRA — винтовые компрессоры, кожухотрубный конденсатор, R134a. 10 моделей от NWRA145 до NWRA353: холод 474–1160 кВт в режиме 12/7 °C и 436–1412 кВт по сетке каталога. Два винтовых компрессора, два независимых фреоновых контура, отсежные сервисные вентили на линии хладагента. EER в режиме 12/7 °C — 3,06–3,23; по сноске каталога эти цифры даны для работы с сухим охладителем, на градирне конденсация ниже и EER выше. Габарит — от 3800×1450×1900 до 4700×1450×2200 мм, масса пустой машины 4300–6200 кг.

Рабочий диапазон окружающей среды обеих серий — +10...+35 °C; с обогревом щита и испарителя, панелями и регулятором расхода на конденсаторе — -30...+35 °C. Регулятор давления конденсации на газовой линии держит машину при резких скачках температуры охлаждающей жидкости.

ВНИМАНИЕ

Холодная вода зимой опасна для водяного конденсатора. Вода с градирни в мороз приходит холоднее, чем нужно машине, давление конденсации падает, и защита останавливает чиллер. В проекте нужен байпас градирни или регулятор расхода на конденсаторе (разделы 6 и 10).

2.6. NWCV — центробежный безмасляный компрессор с инвертором

Машина с водяным конденсатором для больших мощностей. Центробежный компрессор стоит на газодинамических подшипниках: после разгона вал удерживает газовая плёнка, масла в компрессоре нет. Синхронный двигатель с постоянными магнитами на одном валу с рабочими колёсами, без мультипликатора; двухступенчатое сжатие с впрыском пара; привод от инвертора с векторным управлением. Испаритель затопленный кожухотрубный, конденсатор кожухотрубный с игольчатым оребрением трубок.

Цифры в марке — холодопроизводительность в холодильных тоннах (refrigeration ton, 1 тонна ≈ 3,52 кВт), число после дефиса — количество компрессоров: NWCV 300-1 — 300 тонн, один компрессор.

Таблица 5 NWCV — центробежный безмасляный компрессор с инвертором

Параметр	Значение по каталогу 2026
Холод (вода из испарителя 7 °С, на конденсатор 30 °С)	229–7033 кВт (65–2000 тонн)
COP в этом режиме	6,01–6,85
Компрессоры	1–4 шт.
Регулирование	бесступенчатое
Расчётное давление воды испарителя и конденсатора	1,0 МПа; другое давление — индивидуальный проект
Патрубки	DN 100–450; зажимные, фланцевые — опция
Удельный расход воды	испаритель 0,172 м³/(ч·кВт), конденсатор 0,215 м³/(ч·кВт)
Связь с диспетчерской	Modbus, BACnet, SNMP, OPC-UA

Что это даёт эксплуатации. Масло не попадает в испаритель и конденсатор, поэтому теплообменники меньше засоряются и машина дольше держит паспортное потребление. По сравнительной таблице каталога у центробежного компрессора на масле есть замена масла раз в три года, масляных фильтров раз в год, ежеквартальная проверка масляного насоса и еженедельный контроль масла; на газодинамических подшипниках эти операции не обязательны. Компрессор испытан на 255 000 пусков и остановов. Инверторный пуск мягкий: у NWCV 300-1 пусковой ток 65 А при максимальном рабочем 360 А.

Расчёт: обвязка NWCV 300-1. Холод 1055 кВт, COP 6,66, потребление 158,4 кВт.

Таблица 6 Расчёт обвязки NWCV 300-1: пример

Шаг	Формула	Результат
Расход через испаритель	$0,172 \times 1055$ (каталог: 181)	181 м³/ч
Перепад на испарителе	$1055 / (1,163 \times 181)$	5,0 К → 12/7 °С
Тепло конденсации	$1055 \times (1 + 1/6,66)$	1213 кВт
Расход через конденсатор	$0,215 \times 1055$ (каталог: 227)	227 м³/ч
Перепад на конденсаторе	$1213 / (1,163 \times 227)$	4,6 К → 30/34,6 °С

Градирию под такую машину подбирают на 1213 кВт и 227 м³/ч, а не на 1055 кВт холода.

2.7. Сводная таблица серий

Таблица 7 Сводная таблица серий

Серия	Компрессор	Конденсатор	Хладагент	Диапазон по каталогу	Где применять
NASA	Спиральный, 2–6 шт.	Воздушный микроканальный на машине	R410A	69–621 кВт	Наружная установка, до сотен кВт, нет воды; есть адиабатическое исполнение
NARA	Винтовой, несколько	Воздушный на машине	R404A, R134a	По подбору	Наружная установка, большие мощности, модульное наращивание; есть адиабатика

Серия	Компрессор	Конденсатор	Хладагент	Диапазон по каталогу	Где применять
NCSA	Спиральный, 2–6 шт.	Выносной воздушный	R410A	69–621 кВт	Машина в помещении без воды и гликоля, короткая трасса
NCRA	Винтовой	Выносной воздушный	По подбору	По подбору	То же на большие мощности
NWSA	Спиральный, 2–6 шт.	Водяной пластинчатый	R410A	69–621 кВт	Машинный зал, драйкулер или закрытый контур
NWRA	Винтовой, 2 шт.	Водяной кожухотрубный	R134a	436–1412 кВт	Машинный зал, средние и крупные мощности
NWCV	Центробежный безмасляный, 1–4 шт., инвертор	Водяной кожухотрубный	По подбору	229–7033 кВт	Крупные хладоцентры, кондиционирование зданий, технология с долгой работой на частичной нагрузке

2.8. Подбор под ваш режим

Каталожные таблицы — для первой прикидки. Мощность машины зависит от температуры воды, концентрации гликоля и расчётного воздуха, поэтому сравнивать модели можно только в вашей рабочей точке. Подбор модели, обвязки и опций под режим мы делаем бесплатно по опросному листу (раздел 3): в ответ вы получаете лист технических данных конкретной машины с холодом, потреблением, расходами, перепадами давления, массой и габаритом.

Рисунок 5 Моноблоки NCT на заводе перед отгрузкой: щит управления на торце, конденсаторы сверху



Чек-лист раздела 2: серия выбрана

- ☐ Серия соответствует схеме отвода тепла из раздела 1: А — воздух, С — выносной конденсатор, W — водяной.
- ☐ Мощность сравнена в рабочей точке объекта, а не в режиме каталога.

- ☐ Для холодоносителя ниже +6 °С заложен гликоль и указана его концентрация.
- ☐ Число ступеней регулирования сопоставлено с минимальной нагрузкой объекта; для глубокой частичной нагрузки рассмотрены бесступенчатые машины.
- ☐ Для машин с выносным конденсатором переданы длина трассы, перепад высот и места установки — без них не посчитать заправку и диаметры.
- ☐ Наружный аппарат водяной машины подобран на тепло конденсации и расход конденсатора из листа технических данных.
- ☐ Опции перечислены строками спецификации: насосный модуль, резервный насос, фильтр, зимний комплект, ЭРВ, виброопоры, ответные фланцы, щит конденсатора.
- ☐ Получен лист технических данных конкретной модели на ваш режим.

Правило прохода: в спецификации стоит модель из листа технических данных на ваш режим, а не строка каталога, и все опции записаны отдельными строками.

3. Исходные данные

Ошибку в чертеже ловит экспертиза, ошибку в исходных данных — только пуск, когда трубы уже сварены. В этом разделе — какие цифры нужны до подбора чиллера, кто их выдаёт и что будет, если взять их «по аналогии».

3.1. Карта исходных данных

Проект холодильного центра держится на трёх группах данных.

- **От заказчика и технолога:** сколько холода, когда, при каких температурах и где стоит машина.
- **От поставщиков ресурсов:** электрическая мощность и вода. Их дают технические условия на подключение (utility connection conditions, ТУ).
- **От производителя машины:** расходы, перепады давления, патрубки, массы, зоны обслуживания, минимальный объём контура.

Свести три группы в одно задание может только проектировщик: заказчик не знает свободной мощности на вводе, энергетик — сколько возьмёт машина в жару, а завод выдаёт точные чертежи только после заказа.

По опыту пусконаладки НСТ, около трёх четвертей проблем на пуске чиллера связаны с расходом и качеством воды, около четверти — с электрикой. Обе группы причин закладываются на этапе исходных данных, а не монтажа.

Таблица 8 Карта исходных данных

Параметр	Откуда берём	Что будет, если ошибиться
Пиковая нагрузка по потребителям	Технологическое задание, расчёт ОВ	Машина мала — нет холода в жару; велика — частые пуски и лишние затраты
Минимальная нагрузка и график	Технолог, служба эксплуатации	Частые пуски, износ компрессоров, буферный бак появляется после пусконаладки
Температуры и среда (вода или гликоль)	Технолог, проект ОВ, замер на реконструкции	Неверный расход и диаметры, синдром низкого перепада, замерзание испарителя
Климат: сухой и мокрый термометр, зимний минимум	СП 131.13330, задание на проектирование	Конденсатор или градирня не снимают тепло в жару, нет зимнего комплекта
Место установки, перепад высот, перекрытие	Заказчик, генпроектировщик, раздел КЖ	Переподбор конденсатора, усиление перекрытия после поставки
Электрическая мощность и категория надёжности	ТУ сетевой организации	Схема не проходит по мощности, нет питания резерва
Расходы, перепады, патрубки, массы	Лист технических данных производителя	Неверный напор насосов, нельзя обслужить машину
Граница поставки и проектирования	Задание на проектирование, договор	Узел без хозяина: его никто не проектирует и никто не поставяет

ВНИМАНИЕ

Опросный лист — не исходные данные проекта. Его часто заполняют по памяти, иногда снабженец. Для подбора машины этого хватает. Для проекта каждой цифре опросного листа нужен документ-источник: технологическое задание, ТУ, паспорт, протокол замера.

3.2. Холодильная нагрузка и её профиль

Первая цифра проекта — холодопроизводительность. Вторая, о которой забывают, — как нагрузка меняется во времени. От пика зависит размер машин, от профиля — число машин, буферный бак и выбор схемы (см. раздел 5).

Что запросить у заказчика и технолога:

- пиковую нагрузку по каждому потребителю отдельно, а не одной суммой;
- суточный график в жаркий, межсезонный и зимний день; минимум — ночь, выходной;
- набросы нагрузки: пуск печи, включение пресса — сколько киловатт и за какое время;
- требуемую точность температуры: при $\pm 1-2$ °C хватает ступенчатого регулирования, точнее — нужен частотный привод компрессора или насоса;

Если расхода ещё нет, нагрузку считают по паспортным тепловыделениям оборудования (грубый ориентир — его электропотребление) и умножают на коэффициент одновременности: обычно 60–80 % суммы паспортов. Сумма паспортов без коэффициента — частая причина машины вдвое больше нужной.

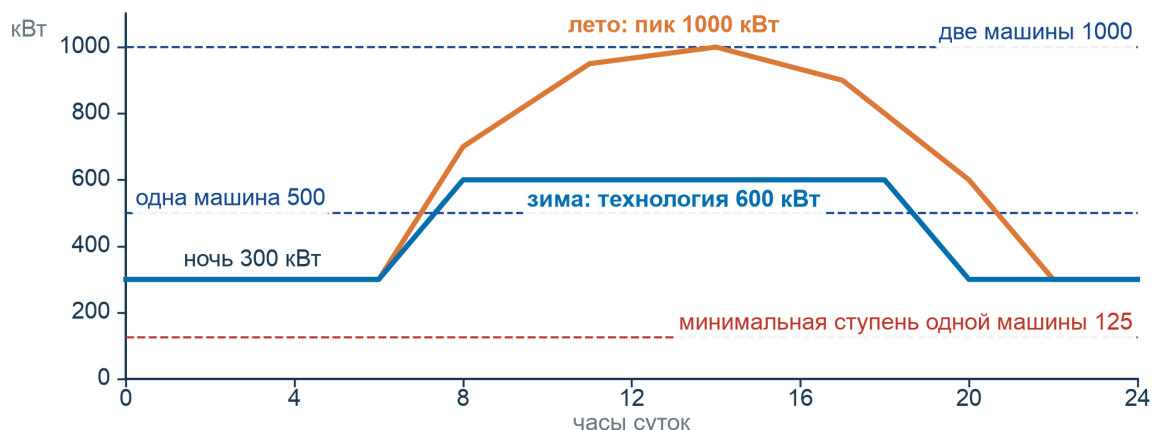
Почему нельзя брать только пик. Машину подбирают на пик, а работает она на нём считанные часы в году. В статистике, на которой построен показатель IPLV (раздел 4.7), чиллер 1 % времени работает на полной нагрузке, 42 % — на 75 %, 45 % — на половине и 12 % — на четверти. Режим, который определяет износ и электричество, — частичная нагрузка, а для неё нужен профиль.

Считаем на примере. Производственный корпус: технология 600 кВт днём и 300 кВт ночью круглый год, кондиционирование 400 кВт в жаркие дни и ноль зимой. Выбраны две винтовые машины по 500 кВт с минимальной ступенью разгрузки 25 % (паспортная величина конкретной модели, здесь — для примера).

1. Пик: $600 + 400 = 1000$ кВт — две машины на полной нагрузке. 2. Минимум: 300 кВт зимней ночью. 3. Минимальная ступень одной машины: $0,25 \cdot 500 = 125$ кВт.

Проверка. Минимальная нагрузка больше минимальной ступени в $300 / 125 = 2,4$ раза: одна машина разгрузится и будет работать без остановов. Если бы ночью технология падала до 100 кВт, машина ушла бы в циклы «пуск — останов», и в проект понадобился бы буферный бак или машина меньше (раздел 4.5).

График нагрузки типового объекта: пик задаёт размер, провал — число машин



Минимум 300 кВт в 2,4 раза больше минимальной ступени 125 кВт: одна машина разгружается без остановов. При ночном минимуме 100 кВт нужен бак или машина меньше.

Размер машин задаёт пик, а число машин и бак — провал нагрузки ночью

ВНИМАНИЕ

Запас «на всякий случай» вредит. Чиллер вдвое мощнее нужного работает короткими циклами: пусковой ток многократно выше рабочего, масло в первые секунды не разошлось. При переменной нагрузке ответ — ступени регулирования и буферный бак, а не запас (раздел 4.1).

3.3. Температуры воды или гликоля и перепад

Температурный график (temperature schedule) — пара «вход / выход» для каждого контура: холодоносителя и, у машин водяного охлаждения, охлаждающей воды конденсатора. По графику и мощности считается расход, по расходу — диаметры, насосы и баки.

Что запросить:

- температуры на входе и выходе каждого потребителя и допустимое отклонение подачи;
- среду: вода или гликоль, какой и какой концентрации;
- на реконструкции — фактические температуры, расход и напор существующих насосов по замеру.

Расход из перепада. Для воды $G = Q / (1,163 \cdot \Delta t)$, где G — расход, м³/ч; Q — мощность, кВт; Δt — перепад, К; 1,163 — объёмная теплоёмкость воды, кВт·ч/(м³·К). Для гликоля коэффициент другой (раздел 4.2).

Таблица 9 Температуры воды или гликоля и перепад

Холод, кВт	Δt 5 К	Δt 6 К	Δt 7 К	Δt 10 К
250	43	36	31	21
500	86	72	61	43
1000	172	143	123	86

Холод, кВт	Δt 5 К	Δt 6 К	Δt 7 К	Δt 10 К
2000	344	287	246	172

Расход воды, м³/ч.

Перепад 7 К вместо 5 К уменьшает расход на 28 %: на 1000 кВт это Ду150 вместо Ду200 и насос на типоразмер меньше. Обратная сторона: если ради перепада опускают температуру подачи, машина теряет часть эффективности, поэтому сравнивают сумму «машина + насосы».

Три правила, которые проверяют сразу:

- на выходе из испарителя ниже 5 °С — высокий риск заморозить теплообменник, нужен гликоль;
- на входе в чиллер выше 20 °С — нужна схема с подмесом или машина в специальном исполнении;
- режим вроде «вход 32 °С, выход 25 °С» лежит вне рабочей области чиллера: потребителя развязывают баком или теплообменником (см. раздел 5), а не ищут «чиллер на 32/25».

ВНИМАНИЕ

Перепад должны выдержать потребители. Воздухоохладители и технологические теплообменники подбирают под тот же график, что и станцию. Если потребитель рассчитан на 5 К, а станция на 7 К, начинается синдром низкого перепада (low delta-T syndrome): вода возвращается холоднее расчётной, машины недогружены, а насосы гонят лишний расход (см. раздел 5).

Тип гликоля и концентрацию пишут в трёх местах: на схеме, в опросном листе машины и в опросном листе насосной группы.

3.4. Климат площадки

Климат задаёт, при какой температуре машина сбросит тепло. Расчётные параметры наружного воздуха берут по СП 131.13330 «Строительная климатология» для города объекта. Цифры ниже — по редакции СП 131.13330 (действующая редакция); перед выпуском проекта их сверяют с действующей редакцией.

Что нужно из СП 131 для чиллера:

- **сухой термометр летом** — для моноблока с воздушным конденсатором, выносного конденсатора и драйкулера;
- **мокрый термометр летом** — для машин водяного охлаждения с испарительной градирней: она упирается в мокрый, а не в сухой термометр;
- **температура наиболее холодной пятидневки, абсолютный минимум и продолжительность холодного периода** — для зимнего пуска, гликоля, обогрева и слива (см. раздел 10).

Для систем кондиционирования в тёплый период обычно принимают параметры Б; пункт сверяют с действующей редакцией СП 60.13330. Для технологии, которая не имеет права остановиться, расчётную температуру задаёт технолог, часто это абсолютный максимум.

Таблица 10 Расчётные параметры Москвы и Петербурга

Параметр	Москва	Санкт-Петербург
Тёплый период, параметры Б (обеспеченность 0,98), °С	26	25

Параметр	Москва	Санкт-Петербург
Абсолютный максимум, °C	38	37
Сухой термометр 0,4 % по ASHRAE, °C	29,9 (ВДНХ)	28,4 (Пулково)
Мокрый термометр 0,4 % по ASHRAE, °C	22,1 (ВДНХ) / 20,7 (Шереметьево)	20,9
Холодная пятидневка 0,92, °C	–26	–24
Абсолютный минимум, °C	–43	–36

Источники: СП 131.13330, таблицы 3.1 и 4.1; ASHRAE Climatic Design Conditions, издание 2021.

Что брать для воздушного конденсатора. Воздушный конденсатор конденсирует хладагент на 10–15 К выше температуры воздуха. Чем жарче, тем ниже холодопроизводительность и выше потребляемая мощность: при росте температуры воздуха с 35 до 45 °C мощность машины падает ощутимо. Поэтому важно, какую именно температуру записали в задание.

По мокрому термометру СП и ASHRAE почти сходятся. По сухому расходятся сильно: параметры Б для Москвы — 26 °C, а сухой термометр 0,4 % по ASHRAE — 29,9 °C, то есть 35 часов в году воздух горячее почти на 4 К. Машина, подобранная строго на 26 °C, в волну жары уходит за расчётную точку. Для непрерывной технологии это обсуждают с заказчиком отдельно и записывают: на какую температуру подобран конденсатор и что происходит выше неё.

ПРИМЕЧАНИЕ

Город — это не одна точка. Мокрый термометр станции ВДНХ на 1,4 К выше, чем у Шереметьево: остров тепла. Для площадки в черте города берите городскую станцию. Подбор градирни — в руководстве ЭХ-АРМ002-RU «Градирни NCT».

Место установки записывают сразу: улица, навес или помещение; перепад высот до конденсатора или градирни; несущая способность перекрытия по рабочей массе машины; путь заноса и место для крана; ограничения по шуму (см. раздел 9).

ВНИМАНИЕ

Перепад высот и кровля — в первые строки задания. Выносной конденсатор, который после подбора оказался на 13 м выше машины или на слабой кровле, означает повторный подбор и пересчёт фреоновых трасс (см. раздел 8).

3.5. Электрическая мощность и технические условия

Электрическая мощность — ограничение, о котором проектировщик часто узнаёт последним. Если разрешённой мощности по ТУ не хватает, спор о типе машины заканчивается, не начавшись.

Что запросить:

- разрешённую мощность и свободный резерв на вводе, категорию надёжности электроснабжения;
- напряжение: стандарт щитов NCT — 380 В, 3 фазы, 50 Гц;
- есть ли резервный ввод или дизель-генератор и какие потребители он питает;
- ограничения по пусковым токам, если ввод слабый.

Порядок величины. Мощность компрессоров на 1000 кВт холода: у чиллера воздушного охлаждения с холодильным коэффициентом (COP) 3 — 333 кВт, у водяного с COP 5 — 200 кВт, у центробежного на градирне с COP 6 — 167 кВт. При разрешённой мощности 250 кВт водяной чиллер проходит впритык (к компрессорам добавятся насосы и вентиляторы градирни), воздушный не проходит вовсе. Как считать мощность точно — в разделе 4.7.

Пусковые токи. По каталогам NCT 2026 у винтового NARV 95 с пуском «звезда — треугольник» рабочий ток 181 А, пусковой до 358 А; у центробежного NWCV 65-1 с частотным приводом пусковой ток 15 А при максимальном рабочем 90 А. На слабом вводе это аргумент за плавный пуск или инвертор.

В опросном листе NCT ограничение записывают в строку «Ограничения по выделенной электрической мощности, кВт». Пустая строка означает, что ограничения нет, и подбор пойдёт без него.

3.6. Требования к резерву

Резерв — это не «поставим ещё одну машину», а три цифры, которые заказчик должен дать письменно:

1. **Допустимое время без холода.** Для комфорта это часы, для серверной или непрерывной технологии — секунды. 2. **Резерв по машинам:** N+1 (одна резервная на группу), 2N (полное дублирование) или резерв только под критичную часть нагрузки. 3. **Резерв по насосам и питанию:** резервный насос с автоматическим вводом, резервный ввод или генератор для машин и насосов.

Для объектов с жёсткими требованиями практика такая: схема N+1 по машинам, буферный объём на 30–120 секунд работы, пока включается резервный насос или машина. Как из этих требований получается число машин и объём буфера — в разделах 4.1 и 4.5.

Резерв машин без резерва питания не работает: категорию надёжности электроснабжения сверяют с требованием к резерву холода.

3.7. Граница поставки и проектирования

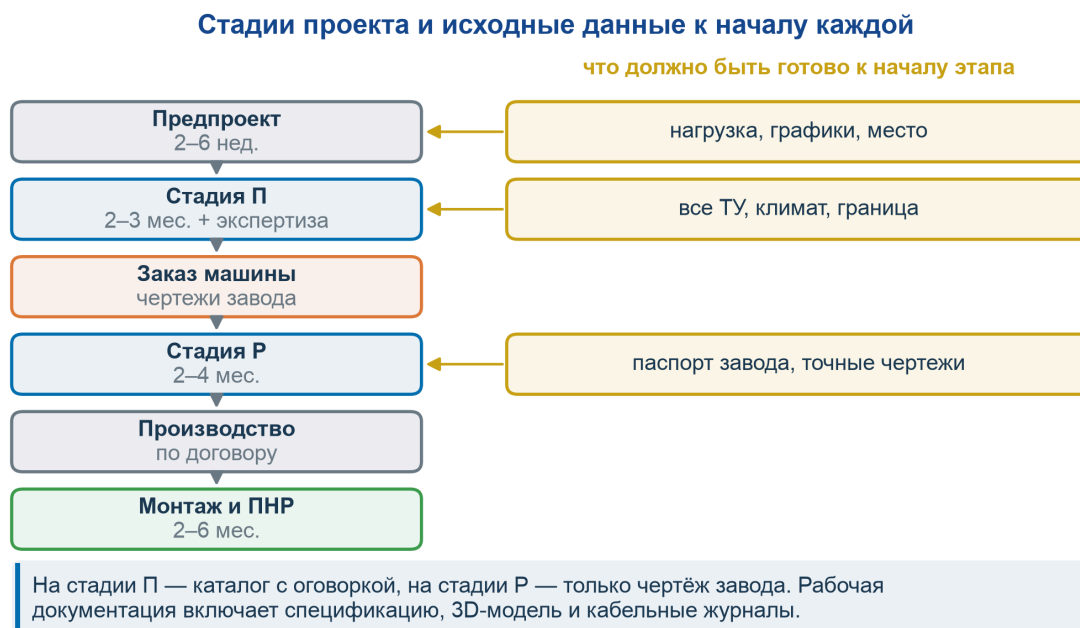
Граница поставки — линия, до которой оборудование и ответственность наши, а после — заказчика или подрядчика. Вариантов три: только машина; машина с насосной группой; холодильный центр до коллектора потребителя. Чем дальше граница от машины, тем меньше мест, где теряется ответственность за расход и чистоту воды.

Рисунок 7 Граница поставки: только машина, машина с насосной группой, холодильный центр



Границу рисуют на схеме и дублируют словами в задании: по какому фланцу, задвижке, клемме. Всё, что поставляется отдельно (ответные фланцы, фильтр, реле протока, баки, щит управления несколькими машинами), идёт в спецификацию отдельной строкой — иначе рискует не попасть в закупку.

Рисунок 8 Каждая стадия проекта стартует со своим набором исходных данных



Каждая стадия стартует со своим набором исходных данных

На стадии П машину закладывают по каталогу с оговоркой, на стадии Р — только по чертежу завода на заказанную модель.

3.8. Опросный лист NCT: что должно быть заполнено

По опросному листу NCT подбирает машину и готовит технико-коммерческое предложение. Внизу листа — подпись лица, ответственного за исходные данные: подписанный лист становится документом, а не перепиской.

Таблица 11 Опросный лист NCT: что должно быть заполнено

Поле опросного листа	Без него подбор	Комментарий проектировщику
Холодопроизводительность, кВт, или расход жидкости, м ³ /ч	невозможен	Пик по разделу 3.2, с указанием, учтён ли запас
Количество чиллеров	приблизителен	Следует из резерва (раздел 3.6)
Тип охлаждаемой жидкости	неверен	Вода или тип и концентрация гликоля
Температура на входе и на выходе из чиллера, °C	невозможен	Фиксированные числа, не диапазон
Температура наружного воздуха, °C	неверен	С указанием, по какому документу и какой обеспеченности (раздел 3.4)
Тип чиллера	невозможен	Моноблок наружной установки; внутренней установки с выносным воздушным конденсатором; с водяным конденсатором
Температурный график и жидкость контура конденсатора	невозможен для водяных машин	Например, 30 → 35 °C, вода или гликоль
Место установки и диапазон температуры окружающей среды	приблизителен	Стандарт +10...+35 °C для машин внутренней установки
Встроенная насосная группа: напор на сеть, резервный насос	насос подберут вслепую	Напор — из расчёта кольца (раздел 4.4)
Фрикулинг: мощность, температура начала, диапазон	без фрикулинга	См. раздел 7
Ограничения: шум, дБА; электрическая мощность, кВт; габариты, м	без ограничений	Пустое поле читается как «ограничений нет»
Нужен бак-аккумулятор (нагрузка неравномерная)	без бака	Объём — по разделу 4.5

Для выносного воздушного конденсатора есть отдельный опросный лист NCT: хладагент, мощность, массовый расход хладагента, температуры конденсации и нагнетания, сухой термометр и влажность, место установки и шум на расстоянии 15 м (см. раздел 8).

ВАЖНО

Знак «?» в графе температуры воздуха или пустая графа «тип жидкости» — главные причины, по которым подбор возвращается с вопросами. Каждое незаполненное поле в проекте станет допущением, а допущение придётся обосновать перед экспертизой.

Чек-лист раздела 3: исходные данные собраны

- ☐ Пиковая нагрузка получена по каждому потребителю отдельно, коэффициент одновременности согласован письменно.

- ☐ Получен суточный и сезонный профиль; минимальная нагрузка сравнена с минимальной ступенью выбранной машины.
- ☐ Температуры на входе и выходе, среда и концентрация гликоля подписаны технологом или проектировщиком ОВ; на выходе на воде не ниже 5 °С, на входе не выше 20 °С — иначе заложены гликоль или развязка.
- ☐ В задание записано, какие климатические параметры приняты: сухой или мокрый термометр, обеспеченность, документ, зимний минимум.
- ☐ Получены ТУ на электроснабжение с разрешённой мощностью и категорией надёжности.
- ☐ Требования к резерву записаны тремя цифрами: время без холода, резерв машин, резерв насосов и питания.
- ☐ Граница поставки и проектирования нарисована на схеме и описана словами по каждой среде.
- ☐ Опросный лист НСТ заполнен по всем полям таблицы раздела 3.8 и подписан ответственным лицом.

Правило прохода: если хоть один пункт пуст, начинать схему рано — можно только эскиз с пометкой «исходные данные не подтверждены».

4. Расчёты с примерами

Расчёты раздела делают до подбора машины и проверяют после него, когда придёт лист данных. Формулы простые, ошибки возникают не в арифметике, а в исходных данных (раздел 3). Каждый пример заканчивается итогом для пояснительной записки.

4.1. Холодопроизводительность, запас и число машин

Формула. Если известны расход и перепад:

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

где G — расход, м³/ч; c — теплоёмкость, кДж/(кг·К), для воды 4,19; ρ — плотность, кг/м³, для воды около 1000; Δt — перепад между входом и выходом, К. Для воды формула сокращается до $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$.

Пример. Расход 20 м³/ч, вода охлаждается с 17 до 12 °С. $Q = 1,163 \cdot 20 \cdot 5 = 116 \text{ кВт}$. Нужен чиллер не менее 116 кВт **в этих условиях**, и оговорка важнее самой формулы.

Каталожная мощность не равна фактической. Каталог даёт её в стандартных условиях, обычно вода 12/7 °С и воздух 35 °С. Жарче воздух, холоднее вода, гликоль вместо воды — и холода меньше. Поэтому машину подбирают по рабочей точке на её характеристике, это делает производитель по опросному листу.

Запас. Обоснованный запас закладывают под конкретные причины: загрязнение теплообменников со временем, планируемое расширение, работа в предельную жару, потери в трубопроводах. Разумная величина — **10–15 %**. Запас закладывают один раз и в одном месте. Если технолог уже добавил 15 %, проектировщик ещё 10 %, а модель округлили вверх, машина получается на треть больше нужной и всю жизнь работает короткими циклами.

Число машин и N+1. Резерв N+1 (N плюс одна) означает: при отказе любой одной машины оставшиеся N покрывают расчётную нагрузку, которую заказчик признал критичной. Критичную часть определяют исходные данные о резерве (раздел 3.6).

Пример. Объект из раздела 3.2: технология 600 кВт круглый год, отказ недопустим; кондиционирование 400 кВт летом, кратковременный недобор допустим. Пик 1000 кВт.

Таблица 12 Холодопроизводительность, запас и число машин

Вариант	Установлено, кВт	При отказе одной машины, кВт	Что покрыто при отказе
2 × 500	1000	500	Технология не покрыта: 500 < 600
3 × 350	1050	700	Технология покрыта; летом недобор по кондиционированию 300 кВт
3 × 500	1500	1000	Покрыто всё, полный N+1

Итог. Если резерв нужен только технологии, достаточно трёх машин по 350 кВт: при отказе одной остаётся 700 кВт при потребности 600 кВт. Полный N+1 на весь пик — три машины по 500 кВт и на 450 кВт больше установленной мощности. Выбор между ними — решение заказчика, и оно записывается в задание вместе с допустимым временем без холода.

У трёх машин по 350 кВт есть и второй плюс: при ступени 25 % наименьшая ступень 88 кВт против 125 кВт, и буферный объём меньше (раздел 4.5).

4.2. Расход, перепад и поправки на гликоль

Расход. Из той же формулы: $G = Q / (c \cdot \rho \cdot \Delta t)$. Для воды $G = Q / (1,163 \cdot \Delta t)$.

Пример по каталогу. NWCV 65-1 по каталогу NCT 2026: холодопроизводительность 229 кВт, расход через испаритель 39 м³/ч при выходе 7 °С. Перепад: $\Delta t = 229 / (1,163 \cdot 39) = 5,0$ К. Каталог задаёт и коэффициент расхода холодной воды 0,172 м³/(ч·кВт), это тот же перепад 5 К: $1 / (1,163 \cdot 0,172) = 5,0$. Если проект закладывает другой перепад, расход и потери давления в испарителе будут другими, и подбор машины пересчитывают на них.

Когда нужен гликоль. Наружная машина, драйкулер, трасса по улице, температура на выходе ниже 5 °С. Концентрацию выбирают по двум условиям: температура замерзания раствора ниже самой низкой температуры, которую увидит контур, и минимальная температура на выходе испарителя допустима для машины.

Таблица 13 Свойства раствора гликоля по концентрации

Концентрация, % масс.	0	10	20	30	40
Этиленгликоль: замерзание, °С	0	-4	-9	-16	-23
Этиленгликоль: минимум на выходе испарителя, °С	4	2	0	-5	-11
Пропиленгликоль: замерзание, °С	0	-3	-7	-13	-22
Пропиленгликоль: минимум на выходе испарителя, °С	4	3	-2	-4	-10

По данным производителей чиллеров; для проекта — таблица изготовителя конкретного раствора.

Различают защиту от разрыва (burst protection) и от шуги (freeze protection). Если в мороз контур стоит, допустима шуга — каша, которая обычно не рвёт трубы. Если машина в мороз работает, концентрацию берут по температуре замерзания с запасом. В проекте пишут, от чего защищает выбранная концентрация. Гликоль — только ингибированный, для теплообменников; руководство по эксплуатации NCT запрещает смешивать хладоносители и добавлять присадки без согласования с производителем.

Три поправки на гликоль.

1. **Мощность машины падает:** у раствора ниже теплоёмкость и хуже теплообмен. 2. **Расход растёт:** произведение $c \cdot \rho$ у раствора меньше, чем у воды. 3. **Потери давления растут:** раствор вязче, и перепад растёт ещё и от большего расхода.

Таблица 14 Поправки на гликоль к мощности и перепаду давления

Раствор	Мощность, доля от воды	Перепад давления, доля от воды
Пропиленгликоль 30 %	0,94	1,35
Пропиленгликоль 40 %	0,90	1,53
Пропиленгликоль 50 %	0,87	1,81
Этиленгликоль 30 %	0,96	1,33
Этиленгликоль 40 %	0,94	1,51
Этиленгликоль 50 %	0,93	1,72

По данным производителей чиллеров, при 7 °С на выходе. В тёплом контуре конденсатора вязкость ниже и поправки меньше.

Пример: расход и перепад на гликоле. Контур 1000 кВт, $\Delta t = 5$ К. Для раствора примем $c = 3,75$ кДж/(кг·К) и $\rho = 1035$ кг/м³ (условные значения для показа метода; в проекте — из таблицы изготовителя раствора).

1. Вода: $G = 1000 / (4,19 \cdot 1000 \cdot 5) \cdot 3600 = 172$ м³/ч. 2. Раствор: $G = 1000 / (3,75 \cdot 1035 \cdot 5) \cdot 3600 = 186$ м³/ч, на **8 %** больше. 3. Перепад давления пропорционален квадрату расхода. Для пропиленгликоля 40 %: $1,08^2 \cdot 1,53 = 1,78$ от водяного.

Итог. Испаритель, у которого на воде перепад 64 кПа (NWCV 65-1 по каталогу), на 40 % пропиленгликоле при той же мощности потеряет около $64 \cdot 1,78 = 114$ кПа. Насос подбирают на эту цифру, а не на воду. Концентрацию берут минимально достаточную для выбранной защиты, а не «пятьдесят на всякий случай»: 50 % вместо 40 % отнимает ещё 3 % мощности машины и добавляет насосу почти пятую часть напора (1,81 против 1,53). С гликолем перенастраивают и защиты машины — от замерзания и по низкому давлению.

Рисунок 9 Поправки на гликоль к холодопроизводительности и перепаду давления: пропиленгликоль (ПГ) и этиленгликоль (ЭГ) 30–50 % при 7 °С на выходе



Как применять

Данные для холодного контура (7 °С на выходе). Расход раствора ещё на 5–10 % больше водяного, поэтому перепад в подборе насоса — квадрат расхода × поправка.

4.3. Тепло на конденсаторе и расход охлаждающей воды

Конденсатор отдаёт наружу холод объекта плюс работу компрессора:

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

где Q_o — холодопроизводительность, P — потребляемая мощность компрессора, COP — холодильный коэффициент. При COP 5 это 1,2 кВт тепла на 1 кВт холода, при COP 6 — около 1,17.

Пример: машина водяного охлаждения. NWCV 65-1 по каталогу NCT 2026: 229 кВт холода, 37,5 кВт потребляемой мощности, COP 6,10. Условия каталога: холодная вода на выходе 7 °С, охлаждающая вода на входе 30 °С, расход охлаждающей воды 49 м³/ч.

1. Тепло на конденсаторе: $Q_k = 229 + 37,5 = 266,5$ кВт, то есть 1,16 кВт на 1 кВт холода. 2. Перепад охлаждающей воды при каталожном расходе: $\Delta t = 266,5 / (1,163 \cdot 49) = 4,7$ К, вода 30 → 34,7 °С. 3.

Если проект принимает перепад 5 К: $G = 266,5 / (1,163 \cdot 5) = 45,8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Итог. Градирню или драйкулер подбирают на 266,5 кВт и расход 49 м³/ч на машину, а не на 229 кВт холода. Градирня, подобранная «по холоду», недополучит 37,5 кВт, то есть 14 % тепла. Подбор градирни по мокрому термометру — в руководстве ЭХ-АРМ002-RU «Градирни НСТ», обвязка контура конденсатора — в разделе 6.

Пример: машина воздушного охлаждения. NARV 95 по каталогу НСТ 2026: 332 кВт холода, 98,6 кВт потребляемой мощности. Конденсатор отдаёт воздуху $332 + 98,6 = 430,6 \text{ кВт}$, это 1,30 кВт на 1 кВт холода. Тепла наружу на треть больше, чем холода, и это тепло нужно отвести от площадки без рециркуляции горячего воздуха (см. раздел 9).

ВНИМАНИЕ

В жару COP ниже каталожного, а тепла на конденсаторе больше. Аппарат отвода тепла подбирают по теплоотдаче конденсатора из подбора машины на ваши условия.

4.4. Насосы и гидравлика

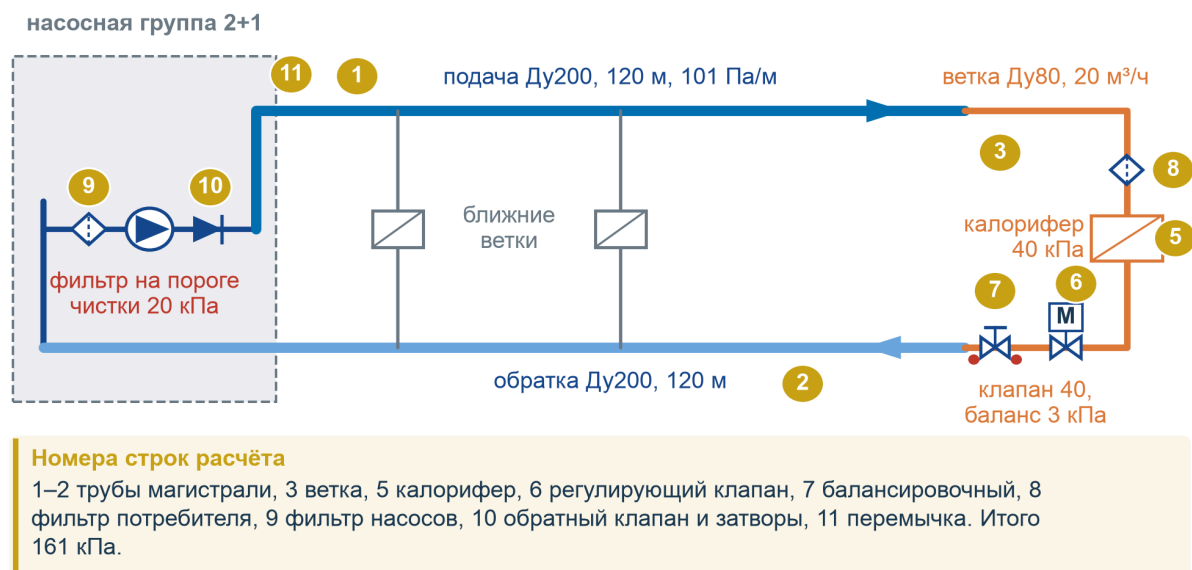
В замкнутом контуре насос не поднимает воду на высоту здания: статику держит расширительный бак. Насос преодолевает сопротивление самого нагруженного кольца — с наибольшей суммой «трасса + аппарат + клапаны», а оно не обязательно самое длинное, поэтому проверяют два-три кандидата.

Из чего складывается напор:

1. **Трубы:** удельные потери × длина подачи и обратки. 2. **Местные сопротивления:** отводы, тройники, переходы, $\Delta P = \Sigma \zeta \cdot \rho \cdot v^2 / 2$. 3. **Аппараты:** испаритель и теплообменники потребителей — по паспорту при расчётном расходе и на расчётной среде. 4. **Арматура с Kv:** регулирующие и балансировочные клапаны, обратные клапаны, фильтры, $\Delta P \text{ (бар)} = (V / Kv)^2$. 5. **Статический подъём** — только в разомкнутом контуре (открытая градирня, бак с разрывом струи).

Два правила задают честный запас без процентов «сверху». **Фильтр считают грязным:** насос должен дать расчётный расход в день перед чисткой фильтра, поэтому в кольцо ставят перепад на пороге чистки, а не чистый. Дифференциальное реле давления на фильтре (опция НСТ) срабатывает на том же пороге. **Регулирующий клапан — по авторитету:** перепад на открытом двухходовом клапане не меньше перепада на остальной части регулируемого участка (авторитет не ниже 0,5).

Расчётное кольцо вторичного контура типового объекта



Пример. Холодильный центр 1000 кВт: две машины по 500 кВт, 7/12 °С, первичный контур с насосом на каждую машину и вторичный контур потребителей (см. раздел 5). Вторичный контур 172 м³/ч, магистраль Ду200 по 120 м в одну сторону, дальний потребитель — приточная установка на 20 м³/ч.

Таблица 15 Насосы и гидравлика

№	Составляющая	Как получили	кПа
1–2	Магистраль Ду200	240 м × 101 Па/м	24,2
—	Местные сопротивления магистрали	$\Sigma \zeta = 10 \times 1,01$ кПа	10,1
3	Ветка Ду80 и её местные сопротивления	30 м × 181 Па/м + $\Sigma \zeta = 8 \times 0,55$ кПа	9,8
5	Калорифер	паспорт при 20 м³/ч	40,0
6	Двухходовой регулирующий клапан	авторитет 0,5	40,0
7	Балансировочный клапан ветки	минимум для измерения	3,0
8	Фильтр перед калорифером	паспорт	5,0
9	Фильтр на всасе насосной группы	на пороге чистки (чистый — 10)	20,0
10	Обратный клапан, затворы, гибкие вставки	паспорта	7,0
11	Перемычка развязки контуров	прикидка	2,0
Итого			161,1

Итог. Насосная группа вторичного контура: **172 м³/ч при 161 кПа (16,4 м)**. Трубы и их местные сопротивления — 44 кПа, около четверти кольца, остальное — аппараты, клапаны и фильтры. Первичный контур одной машины считают так же: испаритель 45 кПа (для примера), фильтр на пороге чистки 20, трубы и местные 11,4, обратный и балансировочный клапаны по 5, затворы и реле протока 3, перемычка 2 — итого **86 м³/ч при 91 кПа (9,3 м)**.

1. **Время оборота (loop time):** объём = расход × время. По данным производителей, для современных винтовых и спиральных машин — не меньше 2 минут, для старых 3–5 минут; если система (клапаны, насосы) реагирует медленнее машины, время берут больше. 2. **Литры на киловатт:** для чиллеров воздушного охлаждения в комфорте — не меньше 3,25 л/кВт; для технологии, высокой точности или работы при наружной температуре ниже 0 °С — 6,46–10,76 л/кВт. 3. **Частота пусков:** не больше 6 пусков в час, цикл не короче 10 минут.

$$V_{\min} = (Q_{\text{ст}} / 2) \cdot (\tau_{\text{ц}} / 2) / (c \cdot \rho \cdot \Delta t_{\text{г}}), \text{ м}^3,$$

где $Q_{\text{ст}}$ — наименьшая ступень станции, кВт; $\tau_{\text{ц}}$ — минимальный цикл, с; $\Delta t_{\text{г}}$ — гистерезис регулятора, К; $c \cdot \rho = 4190 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$. Эта формула единственная из трёх видит устройство машины: ступень и настройку регулятора.

Эффективный объём. Считают не всю воду сети, а ту, что на малой нагрузке возвращается к машине. При двухходовых клапанах у потребителей ночью вода стоит в ветках. В первично-вторичной схеме машина видит только первичный контур и перемычку развязки (decoupler). Только при постоянном расходе с трёхходовыми клапанами работает почти вся сеть (см. раздел 5).

Пример. Две машины по 500 кВт, в каждой четыре компрессора равной мощности: наименьшая ступень станции 125 кВт. 7/12 °С, первично-вторичная схема, гистерезис регулятора 2 К, цикл не короче 10 минут. Паспортного требования нет.

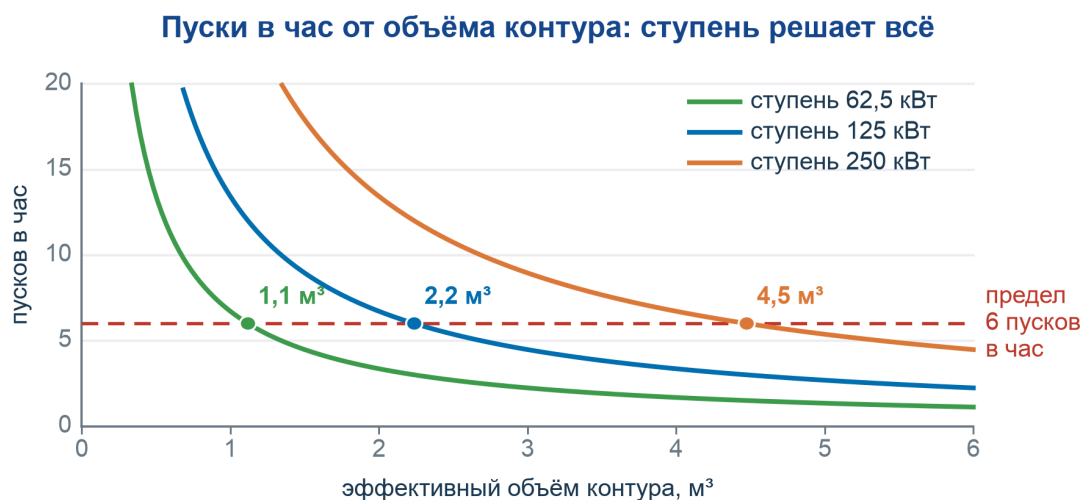
Таблица 16 Минимальный объём системы и буферный бак

Участок	Объём, м³
Трубы машинного зала, Ду150 (17,7 л/м), 40 м	0,71
Перемычка развязки, Ду200 (33,7 л/м), 3 м	0,10
Испарители двух машин (допустим 2 × 0,10)	0,20
Эффективный объём первичного контура	1,01

1. Расход одной машины: $G = 500 / (4,19 \cdot 5) = 23,9 \text{ л/с}$. 2. По времени оборота 2 минуты: $23,9 \cdot 120 = 2,86 \text{ м}^3$. 3. По литрам на киловатт (комфорт): $500 \cdot 3,25 = 1,63 \text{ м}^3$. 4. По частоте пусков: $V = (125 / 2) \cdot (600 / 2) / (4190 \cdot 2) = 2,24 \text{ м}^3$. 5. Эффективный объём 1,01 м³ меньше любого требования: без бака одна машина на одной ступени даёт около 13 пусков в час.

Итог. Буферный бак 2 м³ на обратке первичного контура. Проверка: эффективный объём 3,01 м³, цикл $\tau = 4 \cdot 3,01 \cdot 4190 \cdot 2 / 125 = 807 \text{ с}$, это 4,5 пуска в час, ниже шести; требование по времени оборота (2,86 м³) тоже закрыто. Сеть за перемычкой (около 13 м³) в зачёт не идёт.

Рисунок 12 Пуски в час от эффективного объёма контура при гистерезисе 2 К: каждое удвоение ступени удваивает нужный объём



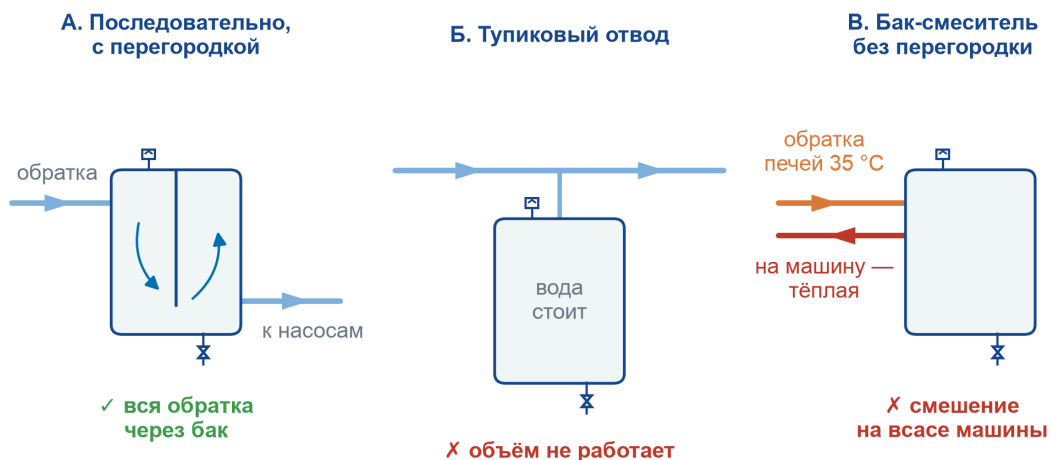
Как читать

Гистерезис 2 К, цикл не короче 10 минут. Пример раздела 4.5: ступень 125 кВт, эффективный объём 1 м³ даёт 13 пусков в час; с баком 2 м³ — 4,5.

Три рычага. Объём прямо пропорционален наименьшей ступени и обратно — гистерезису. Гистерезис 3 К вместо 1 К втрое уменьшает бак, но температура подачи колеблется сильнее, и это согласуют с технологом. Машина с плавным регулированием или частотным компрессором уходит в малую нагрузку без остановки, и бак ей нужен меньше. Старое правило «10 минут расхода» избыточно: для станции из примера это 28,6 м³ — в десять раз больше расчёта.

Где ставить бак. На обратке перед машиной, последовательно, вход и выход с разных сторон, с перегородкой для перемешивания. Бак на тупиковом отводе не работает. Буферный бак — в изоляции, с воздухоотводчиком и дренажом.

Врезка буферного бака: работает только сквозной поток



Правило проекта

Бак на обратке первичного контура, вход и выход с разных сторон, перегородка для перемешивания, воздухоотводчик сверху, дренаж снизу, изоляция. Для технологии с горячей обраткой — отдельные коллекторы и расчёт у производителя бака.

Бак-аккумулятор под пики технологии считают не по пускам, а по тепловому балансу пика:

$$V_{\text{ак}} = (Q_{\text{пик}} - Q_{\text{маш}}) \cdot \tau_{\text{пик}} / (c \cdot \rho \cdot \Delta t_{\text{доп}}),$$

где $\Delta t_{\text{доп}}$ — на сколько технология разрешает подняться температуре подачи за пик. Пример: база 300 кВт, плавка 600 кВт в течение 15 минут, машина 400 кВт, допустимый рост подачи с 7 до 10 °С. $V = 200 \cdot 900 / (4190 \cdot 3) = 14,3 \text{ м}^3$, бак 15 м³. Запас машины 100 кВт заряжает бак обратно за 30 минут; если плавки чаще, нужна машина мощнее, а не бак больше. По той же формуле считают буфер на время переключения резерва: 1000 кВт, 120 секунд, допустимый рост 5 К — $1000 \cdot 120 / (4190 \cdot 5) = 5,7 \text{ м}^3$.

4.6. Расширительный бак и давление

Здесь, в отличие от раздела 4.5, считают весь объём контура: трубы, аппараты, буферный бак.

Исходные данные: полный объём контура $V_{\text{с}}$; нижняя температура и верхняя — до которой контур прогреется **на остановке** (температура помещения или кровли, а не график 7/12); статика $H_{\text{ст}}$ над баком; допустимое давление самого слабого элемента. Расчётное давление водяной стороны чиллеров NARV и NWCV по каталогам NCT 2026 — 1,0 МПа.

Формулы:

- объём расширения: $V_{\text{е}} = V_{\text{с}} \cdot (\rho_{\text{хол}} / \rho_{\text{гор}} - 1)$;
- преднастройка газа: $P_0 = H_{\text{ст}} / 10,2 + \Delta P_{\text{зап}}$, бар изб.; запас около 0,35 бар держит положительное давление в верхней точке;
- конечное давление $P_{\text{е}}$: уставка предохранительного клапана минус 0,5 бар;
- номинальный объём: $V_{\text{н}} = (V_{\text{е}} + V_{\text{зап}}) \cdot (P_{\text{е}} + 1) / (P_{\text{е}} - P_0)$, где $V_{\text{зап}}$ — запас воды в баке;
- давление заполнения: $P_{\text{а}} = (P_0 + 1) \cdot V_{\text{н}} / (V_{\text{н}} - V_{\text{зап}}) - 1$.

Таблица 17 Расширительный бак и давление

Температура, °С	4	10	20	30	35	40	50
Расширение воды от 4 °С, %	0	0,03	0,18	0,43	0,60	0,78	1,21

Пример. Контур из раздела 4.5: 14,1 м³ плюс бак 2 м³ — **16,1 м³** воды. Нижняя температура 4 °С, верхняя на остановке 35 °С. Верхняя точка на 25 м выше бака, предохранительный клапан 6,0 бар, запас воды 0,5 % объёма (допущение примера).

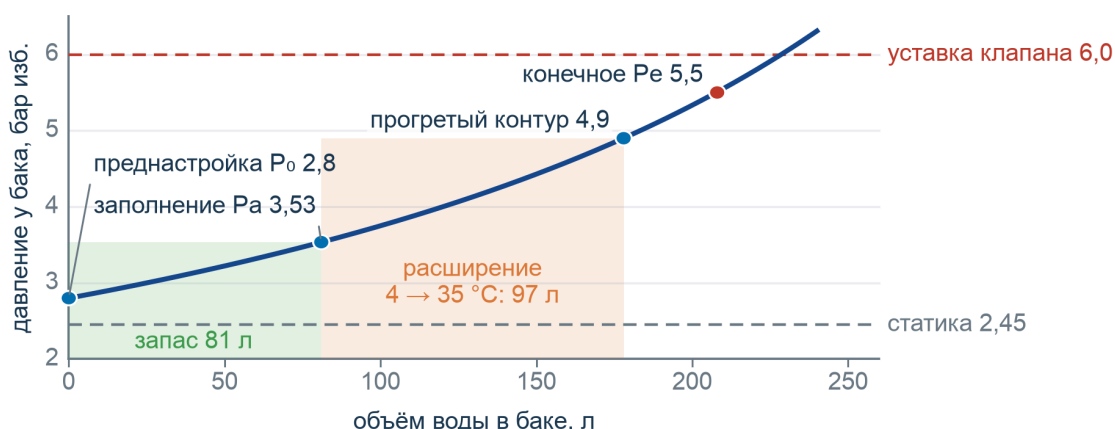
1. Расширение: $16\,100 \cdot 0,0060 = 97$ л; запас: $16\,100 \cdot 0,005 = 81$ л. 2. Преднастройка: $P_0 = 25 / 10,2 + 0,35 = 2,8$ бар; конечное давление $P_e = 6,0 - 0,5 = 5,5$ бар. 3. Номинальный объём: $V_n = (97 + 81) \cdot 6,5 / 2,7 = 429$ л → типоразмер **500 л**. 4. Давление заполнения: $P_a = 3,8 \cdot 500 / (500 - 81) - 1 = 3,53$ бар.

Проверка. Давления идут лестницей: $2,8 < 3,53 < 5,5 < 6,0$. В прогретом контуре в баке 178 л воды и $3,8 \cdot 500 / (500 - 178) - 1 = 4,9$ бар, ниже конечного.

Итог. Мембранный бак 500 л у всаса насосов, преднастройка 2,8 бар, заполнение и уставка подпитки 3,5 бар, клапан 6,0 бар. Все четыре цифры — на схему и в спецификацию: заводская преднастройка мембранного бака почти никогда не совпадает с расчётной.

Рисунок 14 Мембранный бак 500 л: работает только между преднастройкой и конечным давлением

Мембранный бак 500 л: давление от объёма воды в баке



Закон Бойля — Мариотта

$P = (P_0 + 1) \cdot V_n / (V_n - V_{\text{вода}}) - 1$. Бак работает между P_0 и P_e ; при статике 25 м и клапане 6 бар используется только 42 % его объёма.

Гликоль расширяется сильнее воды, и диапазон температур у него шире: зимой контур стоит на морозе, летом прогревается на кровле. Пример: контур драйкулера 2,9 м³ на пропиленгликоле 40 %, -20...+50 °С, расширение примем 2,5 % (условно; в проекте — по таблице плотностей раствора). $V_e = 73$ л, запас 15 л, $V_n = (73 + 15) \cdot 6,5 / 2,7 = 212$ л → **250 л**. Это 86 л на кубометр контура против 31 л у водяного контура выше. Одинаковые баки «по аналогии» у водяного и гликолевого контуров — признак того, что один из них посчитан неверно.

ВНИМАНИЕ

Высокие здания. При статике 40 м и клапане 6 бар мембранный бак в 3,4 раза больше, чем при статике 10 м. Решения: поднять уставку клапана, развязать высотную часть теплообменником или поставить установку поддержания давления. Гидроиспытания по СП 73.13330.2016 проводят с отключёнными расширительными баками.

4.7. Электрическая нагрузка и сезонная эффективность

Показатели. Холодильный коэффициент (COP, coefficient of performance) и коэффициент энергоэффективности (EER, energy efficiency ratio) в каталогах чиллеров означают одно и то же: холодопроизводительность, делённую на потребляемую мощность, кВт/кВт. Например, NARV 95: $332 / 98,6 = 3,37$. Сравнивать машины по COP можно только при одинаковых условиях, поэтому каталог указывает их рядом с цифрой, например «EER 12/7/35 °C»: вода 12/7 °C, воздух 35 °C.

Электрическая нагрузка для ТУ — сумма мощностей работающих машин в расчётной точке, насосов всех контуров и вентиляторов отвода тепла; ток — по максимальному рабочему току из листа данных. Для порядка величины на 1000 кВт холода: NARV (COP 3,37) берёт около 297 кВт, NWCV (COP 6,10) — около 164 кВт без учёта насосов и градирни. Это сравнение по каталожным условиям; на объекте COP воздушной машины в жару ниже.

Почему полной нагрузки мало. Машина работает на полной нагрузке редко, и сравнение по полному COP выбирает не ту машину. Стандарт AHRI 550/590 сводит частичную нагрузку в одну цифру — IPLV (integrated part load value):

$$\text{IPLV} = 0,01 \cdot A + 0,42 \cdot B + 0,45 \cdot C + 0,12 \cdot D,$$

где A, B, C, D — COP при 100, 75, 50 и 25 % нагрузки. Веса — доля времени работы на каждой нагрузке по статистике для Северной Америки.

Пример. Две машины по 1000 кВт. Машина А: COP 5,2, IPLV 5,6. Машина Б: COP 5,0, IPLV 6,3 (цифры для показа метода). Годовая выработка холода — 2000 часов эквивалентной полной нагрузки, то есть 2 000 000 кВт·ч.

1. Машина А: $2\,000\,000 / 5,6 = 357\,143$ кВт·ч в год. 2. Машина Б: $2\,000\,000 / 6,3 = 317\,460$ кВт·ч в год.

Итог. Машина Б экономит **39 683 кВт·ч в год**, хотя на полной нагрузке хуже. По полному COP выбрали бы машину А.

Оговорки. Веса IPLV — для Северной Америки. Для объекта в России честнее NPLV (non-standard part load value) при ваших температурах или расчёт по часам стояния температур (bin-метод). Для технологии с почти постоянной полной нагрузкой сравнивают по полной нагрузке. В каталоге NWCV показатель частичной нагрузки дан как GB-IPLV по китайскому стандарту GB 19577-2015: у NWCV 65-1 он 8,21 при COP 6,10. Веса и условия у него свои, поэтому сравнивать GB-IPLV с IPLV по AHRI напрямую нельзя. Европейские сезонные показатели (ESEER, SEER) строятся на той же идее, но тоже со своими весами и температурами: машины сравнивают только по одному показателю и одной методике.

4.8. Сквозной пример: от нагрузки до тепла на конденсаторе

Объект. Производственный цех: технологическое охлаждение 300 кВт круглый год, кондиционирование 120 кВт летом; ночью и в выходные — 90 кВт. Вода 12/7 °C, первично-вторичная схема, у потребителей двухходовые клапаны. Резерв: N+1 по машинам. Машины водяного охлаждения

NWCV 65-1 по каталогу NCT 2026: 229 кВт, 37,5 кВт, испаритель 39 м³/ч и 64 кПа, конденсатор 49 м³/ч, охлаждающая вода на входе 30 °С.

Допущения примера (в проекте — из листа данных и спецификации): минимальная устойчивая загрузка машины 25 %; объём испарителя 0,05 м³; гистерезис регулятора 2 К; КПД насоса 0,7; предохранительный клапан 6 бар; статика 15 м.

Таблица 18 Сквозной пример расчёта

Шаг	Что считаем	Расчёт	Результат
1	Пик и минимум	300 + 120; ночь 90	420 кВт; 90 кВт
2	Число машин, N+1	две рабочие: $2 \cdot 229 = 458 \geq 420$; одна резервная	3 × NWCV 65-1, запас 9 %
3	Минимальная ступень	$0,25 \cdot 229 = 57$; $90 / 57 = 1,6$	Ночью одна машина работает без остановов
4	Расход вторичного контура	$420 / (1,163 \cdot 5)$	72 м ³ /ч
5	Расход первичного контура	$2 \cdot 39$	78 м ³ /ч, по 39 на машину
6	Кольцо первичного насоса	испаритель 64 + фильтр на пороге чистки 20 + трубы Ду100 20 м 4,8 + местные 7,6 + обратный клапан 5 + балансирующий 5 + затворы 3 + перемычка 2	111 кПа (11,4 м)
7	Насос первичного контура	$39 / 3600 \cdot 111 / 0,7$	39 м ³ /ч, 11,4 м, около 1,7 кВт на валу
8	Требуемый объём	по пускам: $(57,25 / 2) \cdot 300 / (4190 \cdot 2) = 1,02$; по времени оборота 2 мин: $39 \cdot 2 / 60 = 1,30$	1,30 м ³
9	Эффективный объём	трубы Ду125 30 м (12,3 л/м) 0,37 + испарители 3 · 0,05	0,52 м ³
10	Буферный бак	$1,30 - 0,52 = 0,78$	1,0 м ³ на обратке первичного контура
11	Проверка пусков	$4 \cdot 1,52 \cdot 4190 \cdot 2 / 57,25 = 889$ с	4,0 пуска в час
12	Полный объём контура	0,52 + 1,0 + магистраль Ду125 2 · 100 м 2,45 + потребители 1,0	5,0 м ³
13	Расширительный бак	$V_e = 5000 \cdot 0,006 = 30$ л; $V_{\text{зап}} = 25$ л; $P_0 = 15 / 10,2 + 0,35 = 1,82$ бар; $V_n = 55 \cdot 6,5 / 3,68$	97 л → 100 л, преднастройка 1,8 бар
14	Давление заполнения	$2,82 \cdot 100 / (100 - 25) - 1$; в прогретом контуре $2,82 \cdot 100 / (100 - 55) - 1 = 5,2 < 5,5$	2,75 бар
15	Тепло на конденсаторах, расчётное	$2 \cdot (229 + 37,5)$	533 кВт
16	Охлаждающая вода	$2 \cdot 49$; $\Delta t = 533 / (1,163 \cdot 98)$	98 м ³ /ч, 30 → 34,7 °С
17	Тепло в пиковый час	$420 \cdot (1 + 1 / 6,10)$	около 489 кВт
18	Мощность компрессоров	$2 \cdot 37,5$; в пик $420 / 6,10$	75 кВт; около 69 кВт

Итог. Правый столбец таблицы — готовое задание на машины, насосы и баки; к мощности компрессоров в запросе ТУ добавляют насосы и вентиляторы градирни. Вторичный насос считают по своему кольцу, как в разделе 4.4.

ПРИМЕЧАНИЕ

Что проверить, когда придёт лист данных. Минимальный объём контура и минимальную загрузку машины, перепад давления в испарителе на вашем расходе и среде, теплоотдачу конденсатора в расчётной точке. Если хоть одна цифра разошлась с допущением, строки 3, 6–11 и 15–17 пересчитывают.

Чек-лист раздела 4: расчёты выполнены

- ☐ Холодопроизводительность взята в рабочей точке на ваши температуры и среду, а не по строке каталога; запас заложен один раз и обоснован.
- ☐ Число машин проверено на N+1 для критичной части нагрузки.
- ☐ Расход посчитан для принятого перепада; для гликоля учтены поправки на мощность, расход и потери давления.
- ☐ Тепло на конденсаторе посчитано как холод плюс мощность компрессора; расход охлаждающей воды сверен с листом данных.
- ☐ Напор насосов посчитан по самому нагруженному кольцу с грязным фильтром и авторитетом клапанов; таблица кольца приложена к заданию.
- ☐ Минимальный объём взят из листа данных или посчитан по пускам и проверен по времени оборота; эффективный объём посчитан без воды, стоящей в ветках.
- ☐ Расширительный бак посчитан по полному объёму и температуре стоянки; преднастройка, давление заполнения и уставка клапана вынесены на схему.
- ☐ Электрическая нагрузка сверена с ТУ; машины сравнены по показателю частичной нагрузки одной методики или, для постоянной технологии, по полной нагрузке.

Правило прохода: каждая цифра задания на машину, насосы и баки должна иметь строку расчёта с исходными данными; цифра «по опыту» без расчёта — повод вернуться к этому разделу.

5. Схемы холодоснабжения

Чиллер не выбирает схему, но расплачивается за неё. Одна и та же пара машин в одном здании работает ровно или тактует, держит 7 °С или отдаёт 9 °С — в зависимости от того, как соединены насосы, перемычка и клапаны потребителей. Схему выбирают до подбора машин и фиксируют в пояснительной записке с цифрами. Как обвязать саму машину, — в разделе 6.

Все примеры раздела считаем на одном объекте: холодильный центр на 1000–1500 кВт, две или три машины по 500 кВт, график 7/12 °С, вода. Расход считаем по формуле $G = Q / (1,163 \cdot \Delta T)$: для 500 кВт при 5 К — 86 м³/ч, для 1000 кВт — 172 м³/ч.

5.1. Три вопроса, с которых начинается выбор

Ответы лежат в исходных данных (см. раздел 3):

- **Как регулируются потребители?** Трёхходовой клапан держит расход через потребителя постоянным, двухходовой меняет его вместе с нагрузкой.
- **Сколько машин и одинаковы ли они?** Одна машина, несколько одинаковых, разные по мощности.
- **Насколько расход через машину может меняться?** Это паспорт: окно расходов, минимальный расход, допустимая скорость изменения расхода. По данным производителей одни машины выдерживают изменение на 30 % в минуту, другие — только на 2 % в минуту; лучшие контроллеры держат температуру при изменении расхода меньше чем на 10 % номинала в минуту.

Из ответов складываются четыре семейства схем:

- **постоянный расход, один контур** (primary-only, constant flow) — трёхходовые клапаны у потребителей;
- **первичный–вторичный контур** (primary-secondary) — машины на своих насосах постоянного расхода, потребители на своих, между контурами перемычка или гидрострелка;
- **переменный первичный расход** (variable primary flow, VPF) — одна группа насосов на всё, расход через машины меняется, минимум держит байпас;
- **развязка теплообменником** — два контура с разными средами или давлениями.

5.2. Постоянный расход: один контур и трёхходовые клапаны

Насос гонит постоянный расход через машину и потребителей, у каждого потребителя трёхходовой клапан перепускает лишнее мимо теплообменника.

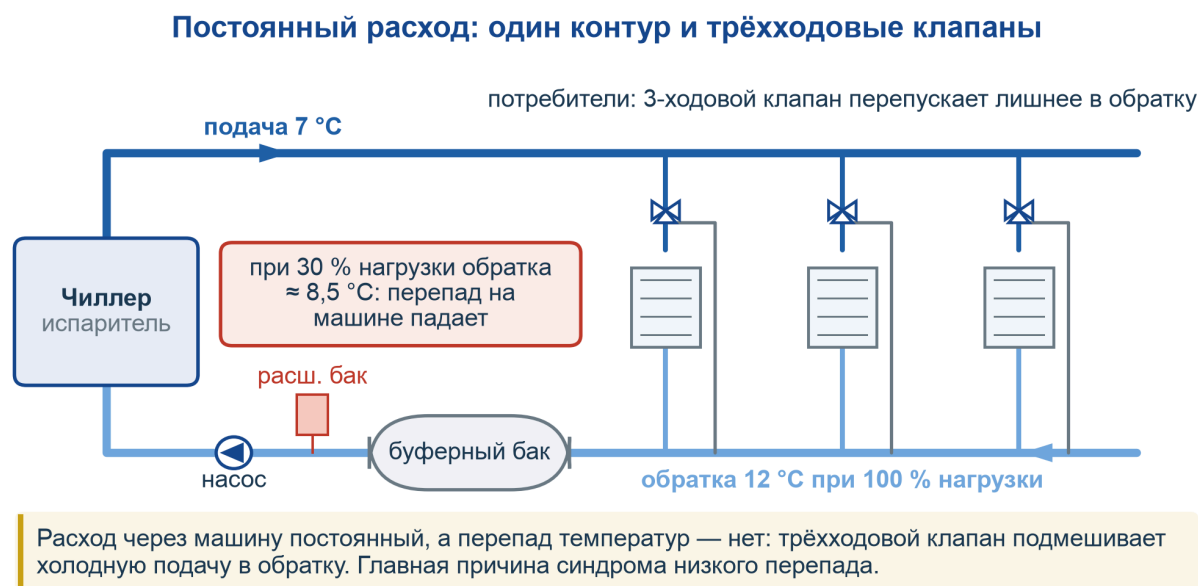
Плюсы. Расход через испаритель постоянный, защита по протоку не срабатывает, автоматика простая — честная схема для одной машины и небольшого числа потребителей.

Минусы. На частичной нагрузке трёхходовой клапан подмешивает холодную подачу в обратку и занижает температуру возврата: при 30 % нагрузки обратка около 8,5 °С вместо 12 °С. Это главная причина синдрома низкого перепада (раздел 5.8). Насос всегда качает полный расход, даже на 30 % нагрузки.

Две машины в параллель на одном общем насосе — ловушка. Вода идёт через обе машины, даже если одна выключена. Пример из мировой практики: обратка 12,2 °С, работающая машина выдаёт 6,7 °С, через выключенную вода проходит тёплой — в подачу уходит смесь 9,45 °С. Реше-

ние — свой насос или отсечной клапан с приводом на каждой машине; при одном работающем насосе дальние потребители могут недополучать воду.

Рисунок 15 Постоянный расход с трёхходовыми клапанами: расход через машину не меняется, а перепад температур падает вместе с нагрузкой



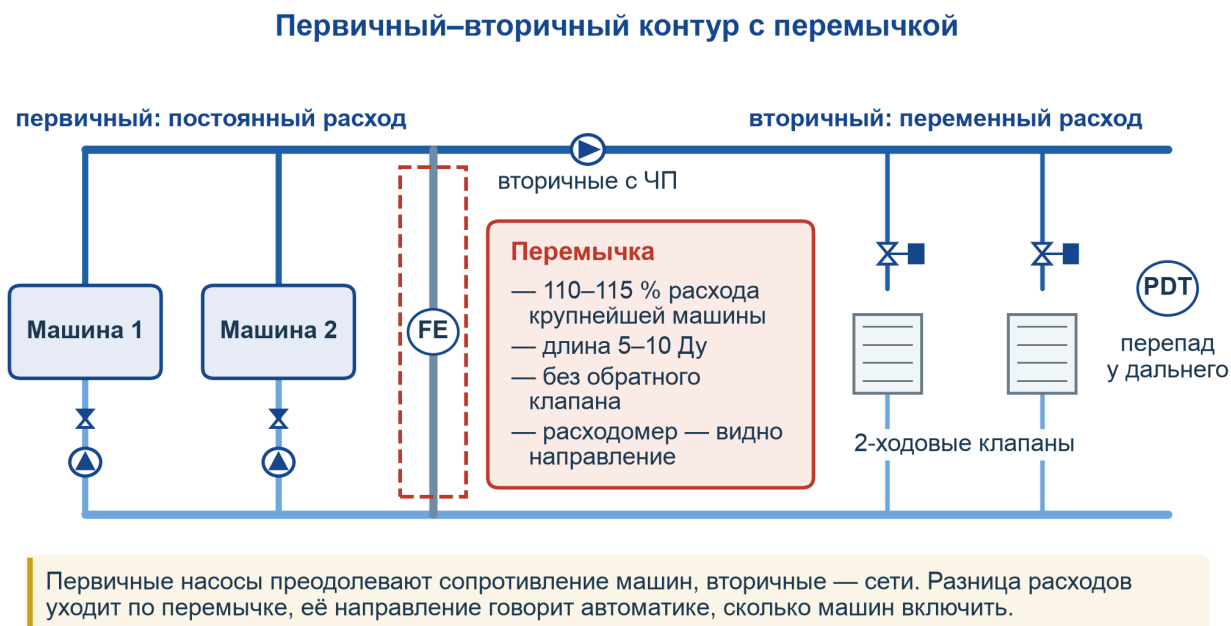
Трёхходовой клапан сохраняет расход, но отдаёт за это перепад

5.3. Первичный–вторичный контур с перемычкой

Идея — гидравлически развязать производство холода и его распределение. Первичные насосы преодолевают только сопротивление машин и их обвязки, вторичные — только сопротивление сети. Воду перекачивают дважды, но энергия не дублируется.

Первичный контур работает с постоянным расходом: каждая машина со своим насосом, в паспортном окне. Вторичный — с переменным: у потребителей двухходовые клапаны, вторичные насосы с частотным преобразователем по перепаду давления у дальнего потребителя. Разница расходов уходит по перемычке (decoupler, common pipe).

Рисунок 16 Первичный–вторичный контур: перемычка забирает разницу расходов, её направление говорит автоматике, сколько машин включить



Перемычка не регулирует ничего: по ней уходит разница расходов

Правила перемычки (мировая практика):

- расчётный расход — **110–115 % расхода самой большой машины**;
- длина — **не меньше 5–10 диаметров**, чтобы потоки подачи и обратки не перемешивались случайно;
- **обратного клапана и запорной арматуры в перемычке нет**. Обратный клапан ставит первичные и вторичные насосы последовательно и гонит через машины больше расчётного расхода;
- сопротивление перемычки мало по сравнению с напором насосов, иначе контуры перестают быть независимыми.

Расчёт перемычки.

Дано: две машины по 1000 кВт, график 7/12 °С, вода.

Ход:

1. Расход крупнейшей машины: $G = 1000 / (1,163 \cdot 5) = 172 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Расчётный расход перемычки: $1,15 \cdot 172 = 198 \text{ м}^3/\text{ч}$.
3. Диаметр при скорости около 1,5–1,6 м/с: Ду200 (внутренний 207 мм), $v = 198 / 3600 / (\pi \cdot 0,207^2 / 4) = 1,63 \text{ м/с}$.
4. Длина: 5–10 диаметров — от 1,0 до 2,1 м между тройниками.

Проверка: Ду150 дал бы 3,1 м/с — перемычка начнёт сопротивляться и связывать контуры.

Итог: перемычка Ду200 длиной 1,5–2 м, без обратного клапана, с расходомером или парой датчиков температуры. Скорость 1,5–1,6 м/с — рабочее допущение примера, а не норма; критерий —

малая потеря давления по сравнению с напором первичных насосов.

Таблица 19 Первичный–вторичный контур с перемычкой

Крупнейшая машина, кВт	Расход машины, м³/ч	Перемычка 115 %, м³/ч	Ду и скорость	Длина 5–10 Ду, м
250	43	49	Ду125, 1,1 м/с	0,6–1,3
500	86	99	Ду150, 1,55 м/с	0,8–1,5
1000	172	198	Ду200, 1,63 м/с	1,0–2,1
2000	344	396	Ду300, 1,47 м/с	1,5–3,1

Быстрая прикидка перемычки, график 7/12 °C, вода.

Направление потока — главный сигнал для автоматики. Поток «подача → обратка» — избыток: машин включено больше, чем нужно. Поток «обратка → подача» — дефицит: тёплая обратка подмешивается в подачу, пора включать следующую пару «машина + насос». Устойчивый дефицит ждут, например, 15 минут, чтобы не дёргать машину.

Пример дефицита: работает одна машина, 172 м³/ч при 7 °C, потребители просят 200 м³/ч, обратка 12 °C. По перемычке снизу вверх идёт 28 м³/ч, потребители получают $(172 \cdot 7 + 28 \cdot 12) / 200 = 7,7$ °C.

Рисунок 17 Перемычка в двух режимах: при избытке поток идёт вниз, при дефиците — вверх, и потребители получают подмес обратки



Устойчивый поток «обратка → подача» — сигнал включить следующую пару «машина + насос» (многие ждут 15 минут). Подача при дефиците: $(172 \cdot 7 + 28 \cdot 12) / 200 = 7,7$ °C.

Направление потока в перемычке — самый честный датчик нагрузки

ВНИМАНИЕ

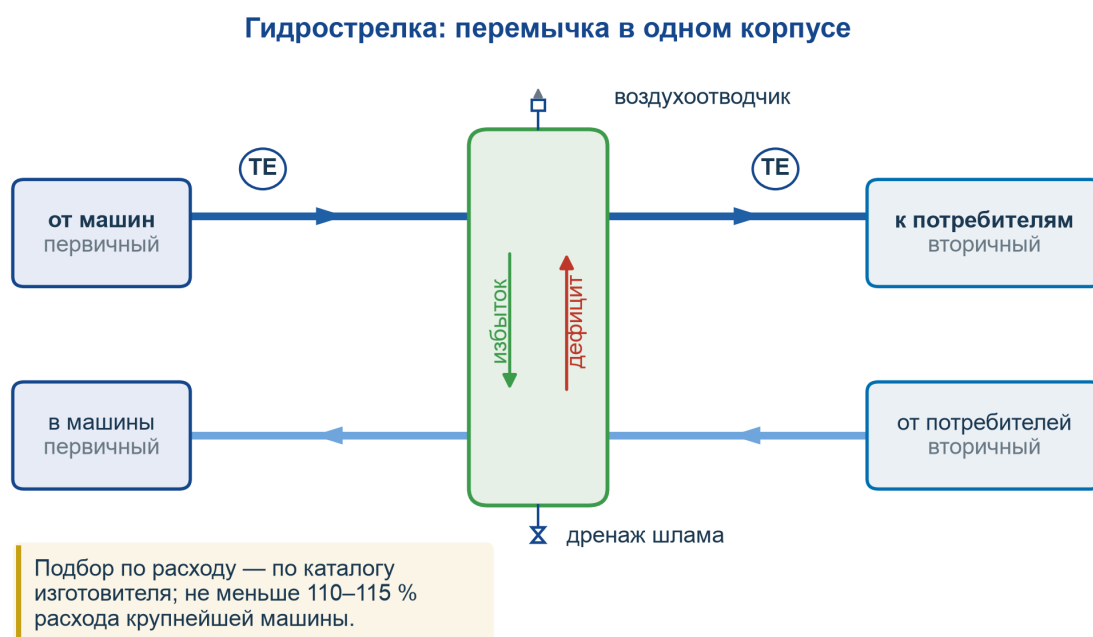
Первично-вторичная схема не лечит плохих потребителей. Если вторичный расход устойчиво больше первичного при всех включённых машинах, в подачу постоянно подмешивается обратка, и станция не держит 7 °C при недогруженных машинах. Это синдром низкого перепада (раздел 5.8).

5.4. Гидрострелка: перемычка в одном корпусе

Гидравлический разделитель (hydraulic separator), в обиходе гидрострелка, делает то же, что перемычка. Вместо трубы между коллекторами — вертикальный корпус большого диаметра с че-

тырьмя патрубками. Низкая скорость в корпусе даёт две дополнительные функции: воздух отделяется вверху, шлам — внизу.

Рисунок 18 Гидрострелка: функция переключки плюс отделение воздуха и шлама



Гидрострелка — переключка, в которой вода отдаёт воздух и шлам

На крупных станциях переключка — просто участок коллектора. На малых и средних, особенно с насосной группой в первичном контуре, гидрострелка компактнее и сразу несёт воздухоотводчик и дренаж. Если для управления машинами нужен расходомер, удобнее переключка: в неё проще врезать прибор с прямыми участками.

Гидрострелку подбирают по расходу по каталогу изготовителя. Правила те же: не меньше 110–115 % расхода крупнейшей машины, обратного клапана нет.

5.5. Переменный расход через испаритель

В схеме с переменным первичным расходом вторичных насосов нет. Одна группа насосов с частотными преобразователями гонит воду через машины и потребителей, у потребителей двухходовые клапаны, и расход через испарители меняется вместе с нагрузкой. Насосы крупнее, чем первичные в первично-вторичной схеме: они преодолевают всё сопротивление системы.

Что обязательно в схеме:

- **двухходовые клапаны у потребителей;**
- **отсечной клапан на каждой машине** — выключенная машина отсекается, иначе через неё идёт тёплая вода;
- **байпас минимального расхода с регулирующим клапаном**, рассчитанный на минимальный расход самой большой машины;
- **расходомер** через машины или на байпасах — клапан байпаса управляется по расходу;
- **медленные клапаны на машинах:** включение второй машины не должно мгновенно срезать расход через первую.

Минимальный расход — паспортная величина машины; типично он лежит в пределах 40–50 % номинала, но в проект идёт только цифра из паспорта выбранной модели.

Где ставить байпас — три варианта:

- **у станции:** клапан работает под большим перепадом и изнашивается;
- **трёхходовые клапаны на части потребителей:** минимум обеспечен всегда, но экономия меньше;
- **в конце магистрали:** клапан работает под малым перепадом и регулирует лучше.

Клапан байпаса — модулирующий, линейный, с ходом 30–60 с; дисковый затвор для этой задачи непригоден. Подбирают его по минимальному расходу крупнейшей машины с проверкой авторитета; диапазон регулирования — от минимума меньшей машины до минимума самой большой комбинации машин.

Переходный режим — где схема ломается. Пример из мировой практики в пересчёте: машина 1 рассчитана на 218 м³/ч, её минимум 131 м³/ч. Она одна работает на 250 м³/ч. Открывается клапан машины 2 — расход делится, через каждую идёт около 125 м³/ч. Расход через машину 1 мгновенно падает вдвое, обе машины ниже минимума — отключение по протоку. Если клапан машины 2 открывается за 60 с, а насос прибавляет скорость, расход через машину 1 плавно уходит к 150–160 м³/ч, не пересекая минимум. Скорость насоса, клапан байпаса и медленные клапаны на машинах должны вместе держать и скорость изменения расхода, и минимум.

ВАЖНО

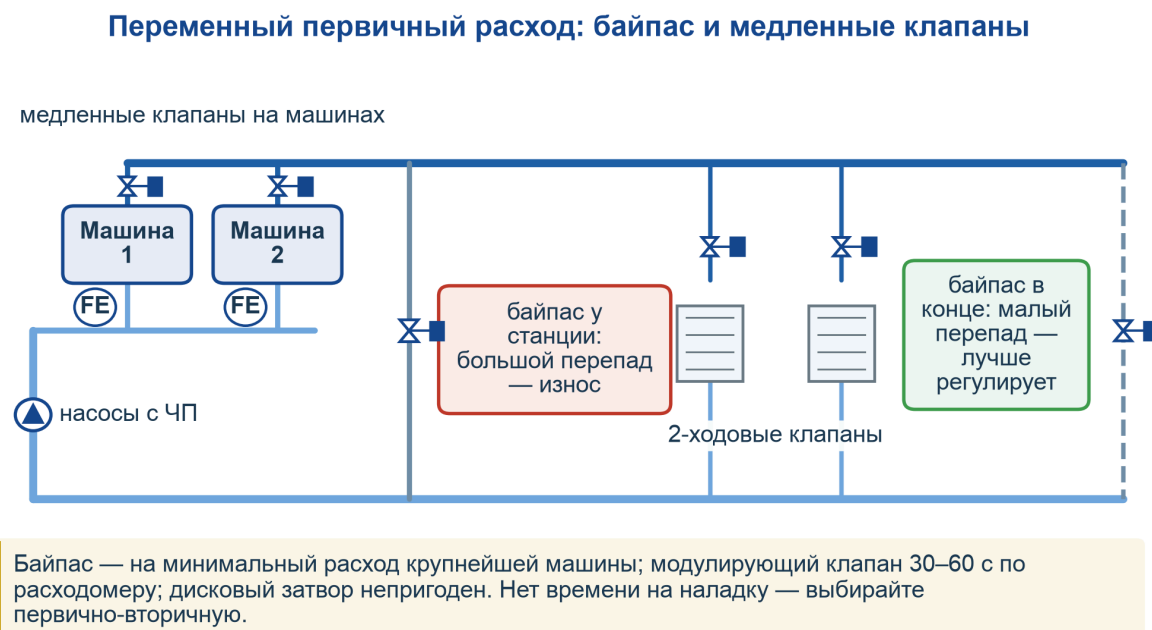
Нет времени на наладку — не выбирайте эту схему. Переменный первичный расход требует больше времени на проект и пусконаладку. На станциях с 2–5 машинами многие проектировщики сознательно выбирают первично-вторичную схему.

Выгода насосов — грубая оценка. Станция 2 × 1000 кВт, первичные насосы 2 × 172 м³/ч при напоре 15 м и КПД 0,7 — по 10,0 кВт. Половину из 4000 часов работы станция идёт на 75 % нагрузки.

1. Первично-вторичная схема: оба первичных насоса качают полный расход — 20 кВт.
2. Переменный расход: на 75 % расхода насосы берут около $0,75^3 = 42$ % мощности — 8,4 кВт.
3. Экономия: 11,6 кВт × 2000 ч = **23 200 кВт·ч в год.**

Вывод: оценка завышена — насосы переменной схемы крупнее, потому что преодолевают всю сеть. Эту цифру сравнивают со стоимостью наладки, автоматики и риском остановов в переходных режимах.

Рисунок 19 Переменный первичный расход: байпас на минимальный расход крупнейшей машины и медленные клапаны на машинах



В схеме с переменным расходом минимум машины — задача проектировщика

5.6. Параллельное и последовательное включение чиллеров

Параллельно — стандарт: каждая машина берёт свою долю расхода, выключенная машина отсекается, резерв простой.

Последовательно (series chillers) — через каждую машину идёт весь расход системы. Сопротивления складываются. Верхняя по потоку машина работает на более тёплой воде и выигрывает в эффективности. Последовательная схема хороша для систем с малым расходом и большим перепадом — больше 9 K.

Расчёт последовательной пары.

Дано: технология 1000 кВт, график 6/15 °C (перепад 9 K), две машины по 500 кВт.

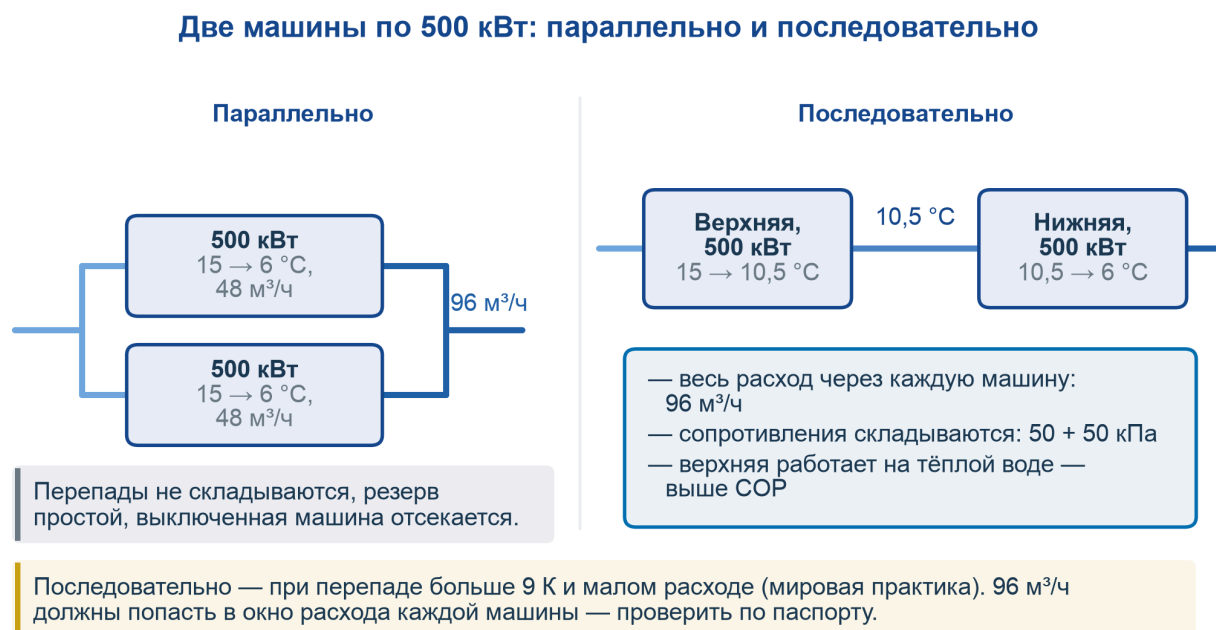
Ход:

1. Расход системы: $1000 / (1,163 \cdot 9) = 96 \text{ м}^3/\text{ч}$ — через каждую машину; в параллели было бы по 48 $\text{м}^3/\text{ч}$.
2. Верхняя машина: 15 → 10,5 °C, нижняя: 10,5 → 6 °C — по 4,5 K на каждой.
3. Сопротивление: если паспортный перепад одной машины на 96 $\text{м}^3/\text{ч}$ — 50 кПа (для примера), у пары — 100 кПа.

Проверка: $96 \cdot 1,163 \cdot 4,5 = 502 \text{ кВт}$ на каждой машине. Сходится.

Итог: насос на 96 $\text{м}^3/\text{ч}$ и 100 кПа сопротивления пары плюс сеть. 96 $\text{м}^3/\text{ч}$ должны попасть в окно расхода каждой машины — это проверяют по паспорту до выбора схемы.

Рисунок 20 Две машины по 500 кВт параллельно и последовательно: последовательная пара меняет расход на перепад



Последовательная пара меняет расход на перепад

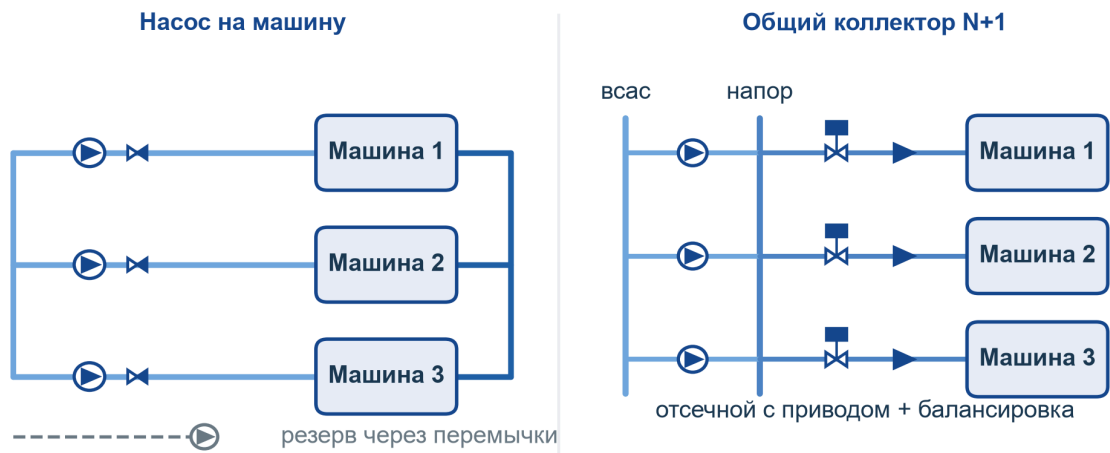
5.7. Насосы и резервирование

Насос на каждую машину (dedicated pumps) — простая гидравлика: пара «машина + насос» включается вместе, расход задан своим насосом. Минус — нет резерва, если не поставить резервный насос с перемычками.

Насосы на общем коллекторе (headered, схема N+1) — резерв общий, любой насос работает на любую машину. Минус — расход по машинам зависит от сопротивления веток: нужны балансирующие клапаны и отсечные клапаны с приводом на каждой машине, переключения сложнее.

Рисунок 21 Насос на машину или общий коллектор N+1: общий коллектор даёт резерв и забирает простоту

Насосы: на каждую машину или на общем коллекторе



Для АБХМ — выделенные насосы: блокировка «нет холодной воды — нет охлаждающей» за одну минуту. При общем насосе охлаждающей воды — автоматический отсечной клапан на машине.

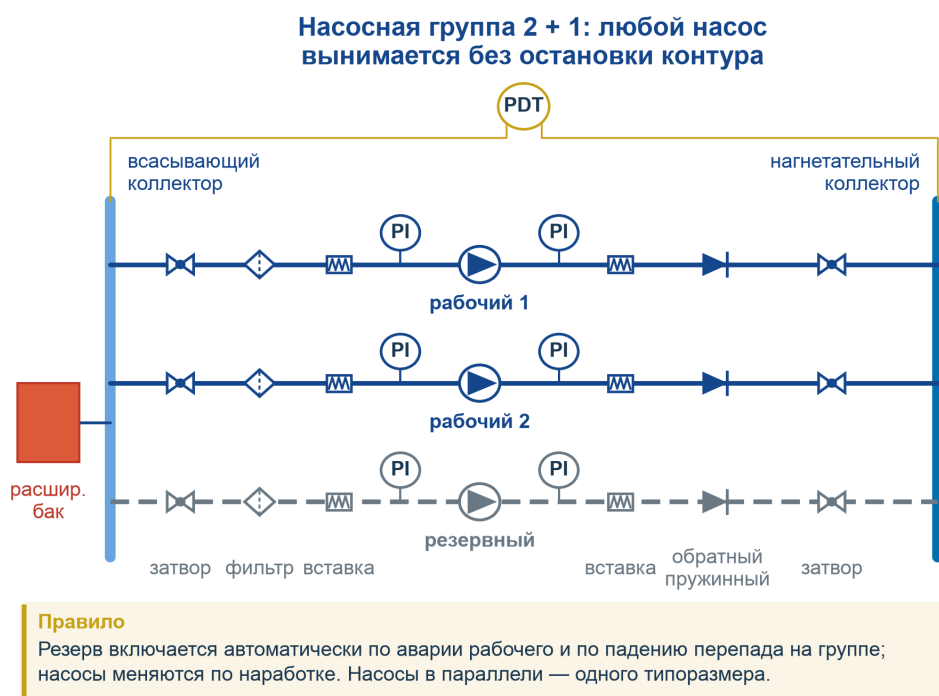
Общий коллектор даёт резерв и забирает простоту

Где ставить насос относительно машины. Руководство NCT допускает оба варианта — «откачивающий от потребителя» и «нагнетающий к потребителю». В высоком здании насос на выходе машины снимает с испарителя напор насоса (раздел 6.5).

Таблица 20 Резерв насосов закладывают так, чтобы отказ одного насоса не снимал холод с объекта.

Схема	Как устроена	Когда уместна
1 + 1	рабочий и резервный на полный расход, автоматический ввод резерва	малые и средние группы; типовая насосная группа NCT
2 + 1	два рабочих по половине расхода и один такой же резервный	средние и крупные контуры с переменным расходом
Насос на машину + общий резерв	у каждой машины свой насос, резервный подключается переключками	первичный контур нескольких машин

Рисунок 22 Насосная группа 2 + 1: у каждого насоса свои затворы, фильтр, вставки и обратный клапан — любой можно вынуть, не останавливая контур



Правила резервирования:

- насосы в параллели — одного типоразмера: слабый на общем коллекторе может оказаться «задавлен» сильным — его обратный клапан закроется, и он будет крутиться без расхода, нагреваясь;
- обратный клапан на нагнетании каждого насоса; лучше пружинный «тихий» (non-slam), который закрывается до разворота потока;
- резервный насос включается автоматически по аварии рабочего и по отсутствию перепада на группе; насосы меняются по наработке, чтобы резерв не закисал;
- всасывающий коллектор — со скоростью 0,6–1,2 м/с;
- резерв машин считают на фактическом графике, а не по шильдику: старый чиллер на 7/12 °C в контуре 5/10 °C выдаст меньше паспортной мощности.

Насосные группы NCT выпускаются на расход 16–1560 м³/ч и напор 10–100 м вод. ст., с резервом 1+1 и щитом с автоматическим вводом резерва по аварии.

5.8. Синдром низкого перепада

Синдром низкого перепада (low delta T syndrome) — вода возвращается на станцию слишком холодной. Машины не догружаются, ради расхода включают лишние машины, насосы качают больше воды, чем нужно.

Причины: трёхходовые клапаны у потребителей; грязные теплообменники и заклинившие клапаны; неверные уставки и некалиброванные датчики; потребители подобраны на меньший перепад, чем станция. **Что лечит:** убрать трёхходовые клапаны, обслуживать фильтры и теплообменники, ставить клапаны, не зависящие от давления (PICV), включать следующую машину,

только когда предыдущая загружена полностью. Обратный клапан в перемычке и перекачка через машину (overpumping) — пластыри, причину они не устраняют.

Расчёт. Нагрузка 1500 кВт, три машины по 500 кВт, расчётный перепад 5 К, фактический у потребителей — 3,5 К.

1. Нужный расход: $1500 / (1,163 \cdot 5) = 258 \text{ м}^3/\text{ч}$ — ровно три машины.

2. Фактический расход потребителей: $1500 / (1,163 \cdot 3,5) = 369 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3. Дефицит в перемычке: $369 - 258 = 111 \text{ м}^3/\text{ч}$ обратки 10,5 °С в подачу.

4. Подача потребителям: $(258 \cdot 7 + 111 \cdot 10,5) / 369 = 8,05 \text{ °С}$.

Вывод: чтобы держать 7 °С, нужны ещё одна-две пары «машина + насос» при недогруженных трёх. Если вторичные насосы из-за синдрома работают на 30 кВт вместо 15, а лишняя пара добавляет 5 кВт, за 2000 часов это **40 000 кВт·ч в год** только на насосах. Синдром сам себя усиливает: при 8 °С клапаны открываются сильнее, и перепад падает дальше.

Рисунок 23 Синдром низкого перепада на станции 1500 кВт: ради расхода включается лишняя машина, насосы работают вдвое больше

Синдром низкого перепада на станции 1500 кВт

Расчёт: перепад 5 К

3 × 500 кВт
100 %

расход
258 м³/ч

перемычка
0 м³/ч

подача 7 °С

Факт: перепад 3,5 К

3 × 500 кВт
недогруз

+1 машина
ради расхода

расход
369 м³/ч

перемычка
111 м³/ч

подача
8,05 °С

Мощность вторичных насосов:

15 кВт — расчёт

30 кВт — синдром

Лишние 20 кВт × 2000 ч = 40 000 кВт·ч в год только на насосах.

Низкий перепад заставляет станцию качать воду вместо холода

5.9. Развязка через теплообменник

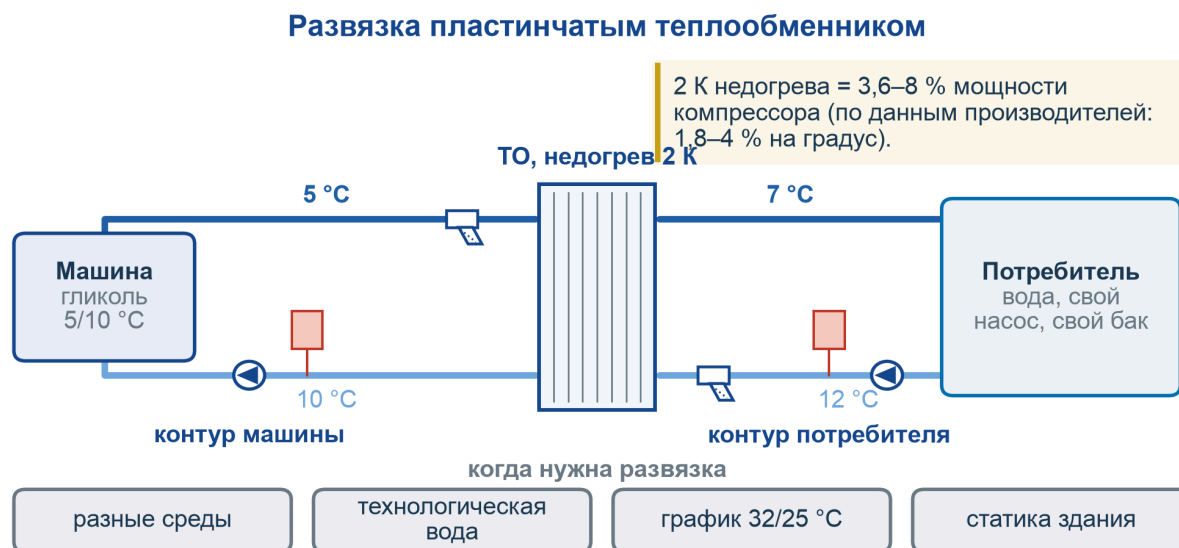
Промежуточный теплообменник разделяет контуры, которые нельзя соединять напрямую:

- **разные среды** — гликоль у машины на улице, вода у потребителя в здании;
- **технологическая вода**, которую нельзя пускать в испаритель: грязная, агрессивная, пищевая; пищевые продукты охлаждают через промежуточный теплообменник, напрямую допустим только водный раствор пропиленгликоля;
- **неподходящий график** потребителя — например, 32/25 °С, вход выше 20 °С;
- **давление** — статика высокого здания превышает допустимое давление водяной камеры машины (раздел 6.5).

Цена развязки — недогрев. Чтобы у потребителя было 7 °С, машина должна дать воду холоднее. По данным производителей снижение температуры холодной воды увеличивает мощность компрессора на 1,8–4,0 % на каждый градус.

Машина 1000 кВт, COP 5, компрессоры 200 кВт, теплообменник требует подачи на 2 К холоднее: рост мощности $2 \cdot (1,8...4,0 \%) = 3,6-8,0 \%$, или 7,2–16 кВт; за 2000 часов — **14 400–32 000 кВт·ч в год**. Плюс второй насос и второй расширительный бак. Развязку закладывают, когда без неё нельзя, и подбирают теплообменник на минимальный разумный недогрев — не больше 2 К, с сетчатыми фильтрами на входах с обеих сторон.

Рисунок 24 Развязка пластинчатым теплообменником: контуры разделены ценой пары градусов недогрева



Теплообменник разделяет контуры и берёт за это пару градусов

5.10. Как выбрать схему

Рисунок 25 Дерево выбора схемы холодоснабжения: четыре вопроса, после которых выбор можно защитить цифрами



Четыре вопроса, после которых выбор схемы можно защитить цифрами

Таблица 21 Как выбрать схему

Критерий	Постоянный расход	Первичный-вторичный	Переменный первичный	Развязка теплообменником
Клапаны у потребителей	Трёхходовые	Двухходовые	Двухходовые	Любые, по вторичному контуру
Число машин	1, реже 2 одинаковые	2 и больше, в т. ч. разные	2 и больше, с широким окном расхода	Любое
Минимальный расход машины	Не важен	Не важен: первичный расход постоянный	Критичен: байпас, медленные клапаны	Как в контуре машины
Сложность автоматики	Низкая	Средняя: машины по перемычке	Высокая: байпас, переходные режимы	Средняя: два контура
Энергия насосов	Высокая на частичной нагрузке	Средняя: вторичные с частотником	Низкая	Выше: второй насос
Риск низкого перепада	Высокий	Средний	Средний	Средний
Когда выбирать	Малые станции, постоянная нагрузка	2–5 машин, комфорт и технология	Одинаковые машины, есть время на наладку	Разные среды, грязная или пищевая вода, статика

Сравнение схем холодоснабжения.

Параллельно или последовательно — отдельное решение: последовательно при перепаде больше 9 К и малом расходе.

Чек-лист раздела 5: схема станции

- ☐ Выписан тип клапанов у всех потребителей, семейство схемы выбрано по дереву раздела 5.10.
- ☐ Из паспорта каждой машины выписаны минимальный, номинальный и максимальный расход и допустимая скорость изменения расхода.
- ☐ Перемычка или гидрострелка — на 110–115 % расхода крупнейшей машины, длина не меньше 5 Ду, без обратного клапана и запорной арматуры.
- ☐ Для направления потока в перемычке заложен расходомер или пара датчиков температуры.
- ☐ При переменном расходе — байпас на минимум крупнейшей машины, клапан 30–60 с, введен переходный режим включения второй машины.
- ☐ Выключенная машина отсекается клапаном с приводом или своим насосом.
- ☐ Для последовательной пары общий расход в окне каждой машины, сопротивления сложены.
- ☐ Резерв насосов — 1+1, 2+1 или общий резервный, с автоматическим вводом по аварии и по перепаду.
- ☐ Для развязки недогрев не больше 2 К, фильтры на входах теплообменника с обеих сторон.
- ☐ Обоснование схемы с цифрами энергии насосов — в пояснительной записке.

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

6. Обязка испарителя и конденсатора

Схема станции из раздела 5 решает, куда идёт вода. Обязка решает, сможет ли машина эту воду принять: с паспортным расходом, без воздуха и окалины, без нагрузки на патрубки и с приборами, по которым через год можно доказать, что машина работала в паспорте. Раздел идёт по ходу воды: узел испарителя, приборы на нём, узел водяного конденсатора, затем трубы.

Типовой объект раздела — тот же: два чиллера NCT водяного охлаждения по 500 кВт, холодная вода 7/12 °С, вода градирни 27/32 °С, подводка к каждому испарителю 86 м³/ч, магистраль 172 м³/ч.

6.1. Узел испарителя элемент за элементом

Вода приходит снизу через затвор, фильтр и гибкую вставку, уходит сверху через приборы, реле протока и балансировочный клапан. Патрубки водяной камеры — вход снизу, выход сверху: так аппарат сам выгоняет воздух. Расположение патрубков сверяют по паспорту конкретной машины.

Рисунок 26 Узел подключения испарителя чиллера NCT: обратка 12 °С входит снизу, подача 7 °С уходит сверху



Таблица 22 Узел испарителя элемент за элементом

№	Элемент	Зачем
3	Дисковый затвор	отсекает машину для ремонта и промывки; ставится парой — на входе и на выходе
4	Сетчатый фильтр Y-образный	ловит окалину и мусор до трубок аппарата — только на входе
5	Гибкая вставка (виброкомпенсатор)	вплотную к патрубку: гасит вибрацию, не передаёт вес и перекосы трубы на патрубок
6	Термометр в гильзе	температура на входе и выходе: по разнице видна нагрузка

№	Элемент	Зачем
7	Манометр с краном	давление до и после: перепад показывает расход и засор трубок
8	Дренажный кран	слив воды из аппарата и контура — в нижней точке входной ветки
9	Опора трубопровода	держит вес трубы и арматуры: патрубок машины не нагружается
10	Автоматический воздухоотводчик	в верхней точке выходной ветки: выпускает воздух (шум, коррозия, срыв насоса)
11	Реле протока	нет расхода — запрет пуска машины; лопастному реле нужны прямые участки не меньше 5 Ду до и после
12	Балансировочный клапан	выставляет расчётный расход через аппарат; ниппели — для измерительного прибора
23	Патрубки водяной камеры испарителя	вход снизу, выход сверху; сверять по паспорту машины

Пять правил узла, которые чаще всего нарушают.

- **Фильтр — только на входе.** На выходе он ловит то, что уже прошло через трубки. В расчёт насоса перепад фильтра берут на пороге чистки, а не чистый: например, 20 кПа вместо 10 кПа у чистого.
- **Опоры — со стороны магистрали от гибкой вставки.** Узел из затвора с редуктором, фильтра и вставки на Ду200 весит сотни килограммов и висит в метре от патрубков. Если опору поставить между вставкой и патрубком, вставка повиснет и будет работать на растяжение. Руководство NCT требует предусмотреть опоры, исключая передачу нагрузки на патрубки чиллера.
- **Переход на магистральный диаметр — сразу за гибкой вставкой.** Патрубок машины меньше магистрали, и это нормально: его сопротивление уже сидит в паспортном перепаде аппарата. Но весь узел на диаметре патрубка — затвор, фильтр, реле протока, балансировочный клапан — добавляет десятки килопаскалей, которых нет в расчёте насоса.
- **Балансировочный клапан — на выходе, дисковым затвором не балансируют.** У затвора нет шкалы настройки и точки замера, при закрытии он шумит и изнашивается. Балансировочный клапан выбирают по Kv так, чтобы в расчётном положении он был открыт не меньше чем наполовину и давал перепад не меньше 3 кПа для измерения: $K_v = V / \sqrt{\Delta P}$ (V — м³/ч, ΔP — бар). Для 86 м³/ч и 5 кПа: $K_v = 86 / \sqrt{0,05} = 385$. В спецификацию идут Kv и расчётная настройка, а не только Ду.
- **Зона выемки трубок свободна.** У торца аппарата на его длину не ставят трубы, щиты и опоры: через неё чистят и меняют трубки.

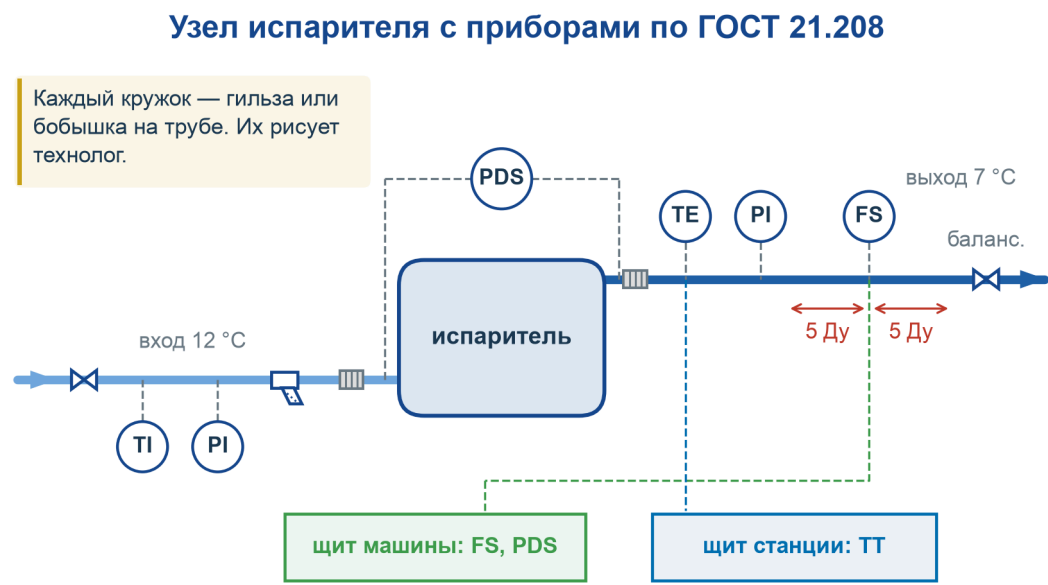
ПРИМЕЧАНИЕ

Что нельзя закрывать изоляцией наглухо. Реле протока, датчики температуры, фильтры, балансировочные клапаны и фланцы у машины изолируют съёмными кожухами на липучке или хомутах. Иначе первое же обслуживание порвёт пароизоляцию, и узел начнёт потеть (раздел 6.4).

6.2. КИП на узле испарителя

Прибор появляется на объекте, только если под него есть место на трубе: гильза, бобышка отбора давления, прямой участок. Всё это рисует технолог, а не проектировщик автоматики. Поэтому перечень КИП — часть технологической схемы. Обозначения — по ГОСТ 21.208.

Рисунок 27 Узел испарителя с приборами по ГОСТ 21.208: каждому кружку соответствует гильза или бобышка на трубе



Каждому кружку на схеме соответствует гильза или бобышка на трубе — их рисует технолог, а не автоматчик

Таблица 23 КИП на узле испарителя

Прибор	Обозначение	Зачем	Кто обычно ставит
Термометры в гильзах на входе и выходе	TI	видеть нагрузку, проверять производительность	монтаж по проекту
Датчики температуры на входе и выходе	TE / TT	регулирование, расчёт мощности	машина (свои) и станция (общие)
Манометры на входе и выходе	PI	перепад на аппарате = расход и засор трубок	монтаж
Реле протока или реле перепада	FS / PDS	запрет пуска без воды, защита от замерзания	поставка с машиной или проект

Правила места.

- Гильзу датчика ставят в зоне перемешанного потока, не ближе 5–10 диаметров от точки смешения.
- Лопастному реле протока — прямые участки не меньше 5 Ду до и после. Реле перепада подключают к отборам на входе и выходе аппарата.
- Реле протока и блок-контакт насоса заводят проводом в цепь безопасности машины (щит машины), датчики станции — в щит станции. По цифровой шине передают только данные, не защиты.
- Манометры на входе и выходе — одного класса точности: по их разнице сервис проверяет расход манометрическим методом, а без них нельзя предъявить претензию по производительности.
- Расходомер ставят на участке, где труба гарантированно заполнена, с прямыми участками по паспорту прибора; регулирующий клапан — после прибора.

6.3. Узел водяного конденсатора

Узел конденсатора повторяет узел испарителя: затворы парой, фильтр только на входе, гибкие вставки у патрубков, термометры и манометры, реле протока с прямыми участками, балансировочный клапан на выходе, воздухоотводчик наверху, дренаж внизу. Отличия — в самом контуре градирни.

Рисунок 28 Чиллер водяного охлаждения NCT с открытой градирней NCT: синий контур несёт холод потребителю, оранжевый уносит тепло конденсатора на градирню



Номера 3–12 на рисунке означают то же, что на узле испарителя (раздел 6.1). Остальные:

Таблица 24 Узел водяного конденсатора

№	Элемент	Зачем
1	Чиллер NCT водяного охлаждения	испаритель забирает тепло у воды, конденсатор отдаёт его воде градирни
2	Зона выемки трубок	свободна на длину аппарата у торца: чистка и замена трубок
13	Насос ин-лайн (рабочий + резервный)	контур холодной воды
14	Обратный клапан	не даёт воде идти назад через стоящий насос
16	Мембранный расширительный бак	принимает расширение и держит давление на всасе насосов холодной воды
19	Насос консольный (рабочий + резервный)	контур градирни: вход по оси, выход вверх, двигатель на общей раме

Что добавляет контур градирни.

- **Два фильтра, а не один.** На всасе насосов градирни — только крупная сетка с ячейкой 4,8–6,4 мм и малым перепадом, лучше — сетка на выходе из поддона. Тонкую сетку на всас не ставят: забившись к середине лета, она съест кавитационный запас (NPSH) насоса. Тонкий

фильтр с ячейкой по паспорту машины стоит после насосов, на входе в конденсатор, с дифманометром.

- **Трёхходовой клапан байпаса градирни** — разделительный (diverting), на обратке после конденсатора: при слишком холодной воде часть потока идёт мимо градирни, и вода в конденсатор не переохлаждается. Датчик — на входе в конденсатор, после точки смешения, не ближе 5–10 диаметров от неё.
- **Минимальная температура воды на входе в конденсатор** — из паспорта конкретной машины NCT или из ответа завода на запрос. По данным производителей для водяных чиллеров это обычно 12,8–15,6 °С при полном расходе через конденсатор. «На всякий случай 25 °С» не ставят: каждый лишний кельвин воды градирни стоит энергии компрессора.
- **Расширительного бака у открытого контура нет** — он «дышит» в поддон градирни.

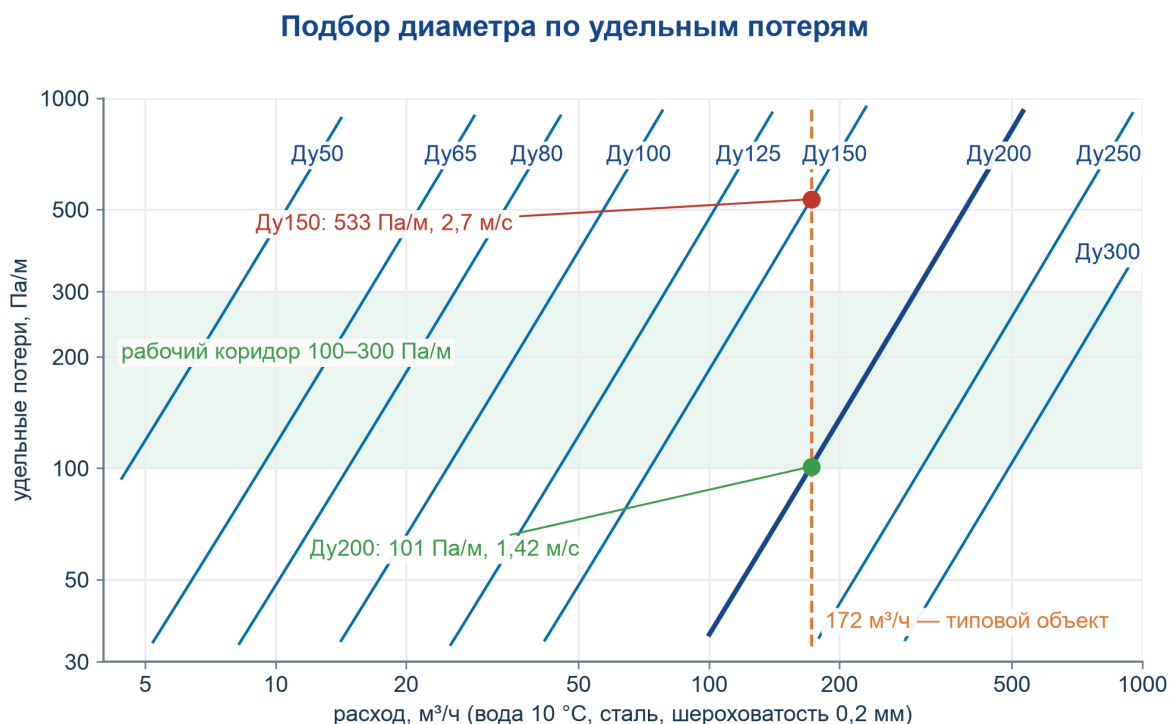
На схеме контура отвода тепла выписывают цифрами: расход и температуры конденсатора из подбора, минимальную температуру на входе по паспорту, диаметр байпаса, тип клапана, его Kvs, время хода и место датчика. Подбор градирни и её обвязка — в руководстве серии ЭХ-АРМ002-RU «Градирни NCT», зимние режимы — в разделах 7 и 10.

6.4. Трубы: диаметр, давление, компенсация, уклоны, изоляция, вибрация

Диаметр. Критерий подбора — не «влезет ли расход», а сколько напора труба съест на метр. Обязательны оба критерия:

- удельные потери — рабочий коридор **100–300 Па/м** (ASHRAE Handbook — Fundamentals даёт для труб больше 50 мм 100–400 Па/м);
- скорость — не ниже **0,6 м/с**, чтобы поток уносил пузырьки к воздухоотделителю, и не выше **2,6 м/с** по шуму и эрозии; рядом с помещениями с нормируемым шумом — до 1,5 м/с.

Расход V (м³/ч) = $0,86 \cdot Q$ (кВт) / ΔT (К), скорость v (м/с) = $354 \cdot V / d^2$ (d — внутренний диаметр, мм).



Пример. Магистраль 1000 кВт, 7/12 °С, подача и обратка вместе 240 м. $V = 0,86 \cdot 1000 / 5 = 172 \text{ м}^3/\text{ч}$.

1. Ду150: 2,70 м/с, 533 Па/м — вне коридора по обоим критериям.
2. Ду200: 1,42 м/с, 101 Па/м — нижний край коридора, линейные потери $101 \cdot 240 = 24,2 \text{ кПа}$.
3. Разница: $(533 - 101) \cdot 240 = 104 \text{ кПа}$ линейных плюс около 26 кПа местных — насос должен дать лишние 13,3 м, это 9,2 кВт на весь срок службы.

Итог: магистраль Ду200, подводки к испарителям на 86 м³/ч — Ду150 (1,35 м/с, 137 Па/м), а не Ду125 (1,95 м/с, 352 Па/м). Гликоль на тот же расход теряет больше: +25 % потерь на 30 % пропиленгликоля, +39 % на 40 %; контур на гликоле подбирают по таблице для воды в коридоре 80–240 Па/м.

Материалы. Машинный зал и узлы у машин — сталь на сварке и фланцах; мелкие отводы, дренажи, воздушники до Ду50 — водогазопроводная труба; коллекторы насосных групп НСТ — нержавеющая сталь. Стык нержавеющей и чёрной стали — на фланцах, не на сварке. Насосные группы НСТ идут на фланцах по ГОСТ 12820-80. У каждого патрубка машины в спецификации — Ду, стандарт фланца по чертежу завода и давление; ответные фланцы и прокладки — отдельными строками. Длину болтов считают по сумме толщин фланцев, прокладки и гибкой вставки.

Давление у машины. Трубу, фланцы и арматуру выбирают по давлению в самой нагруженной точке — внизу, у машины.

$p_{\text{раб}} = p_{\text{стат}} + p_{\text{насоса}}$, если насос стоит до машины. Напор насоса берут не рабочий, а при закрытой задвижке (shutoff head) на полной скорости: откажет частотник или закроется клапан — насос выйдет на этот напор (ASHRAE Handbook — HVAC Applications 2023, гл. 4).

Пример. Верхняя точка +36 м, избыток в ней 0,5 бар, напор насоса при закрытой задвижке 20,5 м. $p_{\text{стат}} = 36 / 10,2 + 0,5 = 4,0 \text{ бар}$; у машины $4,0 + 20,5 / 10,2 = \mathbf{6,0 \text{ бар}}$. То же здание на +60 м даёт

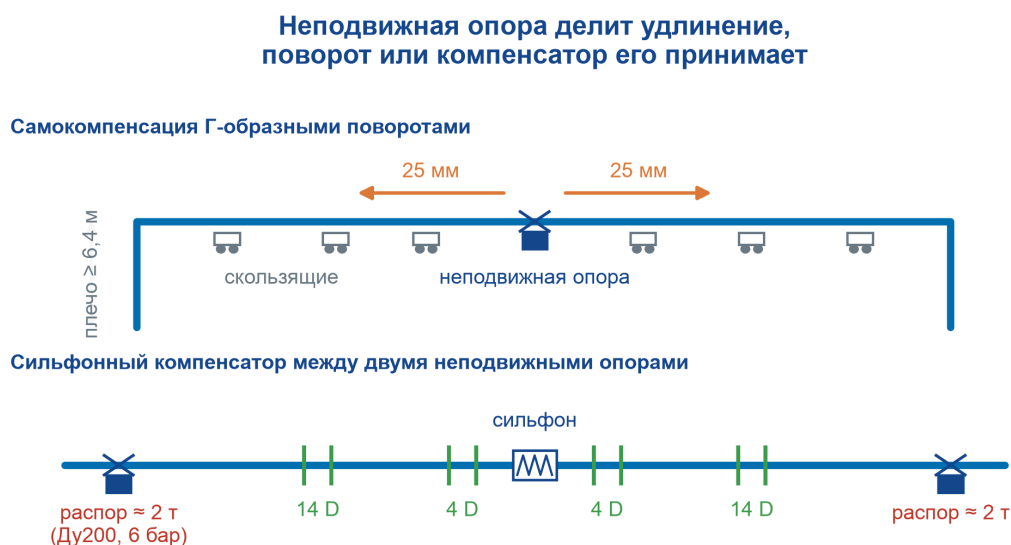
8,4 бар. Если это выше допуска водяной камеры, ставят насос после машины (испаритель видит только статику, 6,4 бар) или развязку теплообменником (раздел 5.9). Допуск водяной камеры чиллера NCT — из паспорта модели; ориентир мировой практики для крупных машин — 1000 кПа.

ВНИМАНИЕ

Машину при опрессовке отсекают. По СП 73.13330 водяные системы испытывают давлением 1,5 рабочего, но не менее 0,2 МПа в нижней точке. Для здания +36 м это 9,0 бар — может оказаться выше допуска водяной камеры. Машину отсекают затворами и заглушками, и в примечании к схеме так и пишут.

Компенсация. Холодная труба удлиняется не меньше горячей: считают размах между крайними состояниями. Промывка по руководству NCT горячей водой 45–55 °С даёт в зале размах 25–50 К, гликоль на улице — 70 К. $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$, для стали $\alpha = 0,012 \text{ мм}/(\text{м} \cdot \text{К})$: 30 м при 70 К — 25 мм. Принимают удлинение поворотом трассы (самокомпенсация), П-образным или сильфонным компенсатором. Для Ду200 и 25 мм плечо Г-образного поворота — не короче 6,4 м. Сильфон ставят между двумя неподвижными опорами с направляющими на 4 и около 14 диаметров; распор на опору для Ду200 при 6 бар — около двух тонн.

Рисунок 30 Неподвижная опора делит удлинение, поворот или компенсатор его принимает



Вывод

Резиновая вставка у патрубков машины — не компенсатор: удлинение магистрали принимают опоры и трасса, патрубков не несёт ничего.

ВАЖНО

Гибкая вставка у патрубков — не компенсатор. Её задача — вибрация и монтажные перекосы в пределах миллиметров. Если удлинение магистрали «гасится» вставкой, вся нагрузка приходит на патрубок машины.

Уклоны. Не меньше 0,002 (2 мм/м, СП 60.13330 — сверьте пункт действующей редакции): на 60 м это 12 см отметок, их закладывают в высотную схему заранее. В каждой верхней точке — автоматический воздухоотводчик в доступном месте, в каждой нижней точке отсекаемого участка —

дренаж в трап. Обход балки сверху («перевёрнутая П») — воздушный мешок: без воздушника наверху трубы бьёт гидроударами. Уклон «к машине» не делают: при сливе грязь со всей трассы уйдёт в испаритель.

Изоляция и пароизоляция. Поверхность изоляции должна быть теплее точки росы: в зале 26 °С и 60 % это 17,6 °С, на эстакаде 30 °С и 75 % — 25,1 °С. Толщину решает влажность и покрытие, а не диаметр (вспененный каучук, λ около 0,036 Вт/(м·К)):

Таблица 25 Трубы: диаметр, давление, компенсация, уклоны, изоляция, вибрация

Условия	Среда	Толщина против конденсации, мм
Зал 26 °С / 60 %, матовая поверхность	вода 7 °С	9
Эстакада 30 °С / 75 %, матовая	вода 7 °С	19
Эстакада 30 °С / 75 %, блестящее покрытие	вода 7 °С	25
Зал 26 °С / 60 %, матовая	гликоль –5 °С	13

Это минимум; по энергии толщину поднимают: на 240 м магистрали Ду200 переход с 9 на 25 мм снижает теплопритоки с 8,8 до 4,3 кВт холода. Методика — СП 61.13330.

Рисунок 31 Непроклеенный шов превращает изоляцию в губку: пар проходит к холодной стенке и конденсируется внутри



Пароизоляция важнее толщины: каучук с закрытыми порами, все швы и торцы проклеены, облицовку не крепят скобами степлера. Минвата на холодной трубе — только с отдельным пароизоляционным слоем. Изолируют после опрессовки. На опорах трубу отделяют от хомута вкладышем из изоляции высокой прочности на сжатие со щитком снаружи, иначе опора становится мостиком холода и капает. Уличные участки — в разделе 10.

Вибрация. Гибкие вставки — на каждом патрубке машины и насоса, соосно и без натяга. Первые метры трубы от виброизолированного оборудования — на пружинных или неопреновых подве-

сах; по ASHRAE — на первых 15 м. Проходы через стены — в гильзах с эластичным заполнением, опоры — на несущие конструкции, а не на лёгкие перегородки.

Рисунок 32 Вибрацию режут три раза: вставкой у насоса, пружинным подвесом рядом и гильзой в стене



6.5. Элементы узла: зачем и типовая ошибка

Таблица 26 Элементы узла: зачем и типовая ошибка

Элемент	Зачем	Типовая ошибка
Затвор	отсечь машину для ремонта, промывки, опрессовки	затвором «балансируют» — шум, износ, нет точки замера
Сетчатый фильтр	защитить трубки от окалины	поставлен на выходе или считан в насосе чистым
Гибкая вставка	развязать машину по вибрации	работает как компенсатор удлинения или висит без опоры
Опора	снять вес узла с патрубка	стоит между вставкой и патрубком
Реле протока	запрет пуска без воды	нет прямых участков 5 Ду; сигнал по шине вместо провода
Термометры и манометры	нагрузка, расход, засор	нет на одной из сторон — производительность не доказать
Балансировочный клапан	выставить паспортный расход	подобран по Ду трубы, а не по Kv
Воздухоотводчик и дренаж	выпуск воздуха, слив	воздушник не в верхней точке, уклон к машине
Крупная сетка контура градирни	защитить насос	на всасе тонкий фильтр — кавитация к середине лета
Байпас градирни	не переохладить воду конденсатора	смесительный клапан вместо разделительного, нет уставки

Элемент	Зачем	Типовая ошибка
Изоляция	не потеть, не терять холод	швы не проклеены, хомут опоры на голой трубе

Чек-лист раздела 6: обвязка

- ☐ Прошёл по рис. узла испарителя элемент за элементом и нашёл каждый на своей схеме.
- ☐ Фильтр только на входе аппарата, воздухоотводчик в верхней точке, дренаж в нижней.
- ☐ Реле протока — с прямыми участками не меньше 5 Ду до и после, заведено проводом в цепь безопасности.
- ☐ Опоры — со стороны магистрали от гибкой вставки; патрубок машины не несёт вес узла.
- ☐ Узел переведён на магистральный диаметр сразу за гибкой вставкой.
- ☐ Балансировочные клапаны — с Kv и настройкой в спецификации.
- ☐ Термометры, манометры и гильзы — на входе и выходе испарителя и конденсатора.
- ☐ У конденсатора: крупная сетка на всасе насосов градирни, тонкий фильтр на входе, разделительный байпас с уставкой по паспорту.
- ☐ Каждый участок в коридоре 100–300 Па/м и 0,6–2,6 м/с.
- ☐ Давление у машины посчитано с напором насоса при закрытой задвижке и ниже допуска водяной камеры; машина отсекается при опрессовке.
- ☐ Удлинение посчитано с учётом промывки; неподвижные опоры и способ компенсации есть на каждом участке.
- ☐ Изоляция — по точке росы, швы проклеены, вкладыши на опорах.
- ☐ Зона выемки трубок свободна.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — схема обвязки не уходит на нормоконтроль.

7. Свободное охлаждение и адиабатика

Больше половины года в Москве и Петербурге на улице холоднее, чем вода, которую просит потребитель. В это время холод можно брать из воздуха почти даром, а компрессор оставить в резерве. Летом обратная задача: в жару воздушный конденсатор теряет мощность, и её можно вернуть, охладив воздух перед теплообменником испарением воды.

Оба решения меняют схему: появляются теплообменник, трёхходовые клапаны, гликолевый контур, линия воды к форсункам. Их закладывают на стадии П вместе с машиной, а не добавляют после пуска.

7.1. Как устроено свободное охлаждение

Свободное охлаждение (free cooling, фрикулинг) — режим, в котором воду или гликоль охлаждает наружный воздух через драйкулер (dry cooler, сухую градирню) или градирню, без работы компрессора. В проекте встречаются три схемы.

А. Теплообменник фрикулинга перед испарителем. Обратная вода от потребителей сначала проходит теплообменник фрикулинга (или секцию фрикулинга моноблока), остывает, насколько позволяет улица, и только потом идёт в испаритель. Машина добирает остаток. При достаточно холодной улице компрессоры стоят. Так работают моноблоки со встроенным фрикулингом и чиллеры с выносным конденсатором и контуром фрикулинга — в линейке NCT это серия NCSA, для неё фрикулинг заявлен в каталоге.

Б. Градирня и пластинчатый теплообменник (водяной экономайзер). Зимой градирня охлаждает воду до температуры, при которой через теплообменник можно охлаждать контур потребителя в обход машины. Схема требует зимнего режима градирни и защиты от льда — подробно в руководстве серии ЭХ-АРМ002-РУ «Градирни NCT».

В. Драйкулер конденсатора, переключаемый на теплообменник. У чиллера водяного охлаждения с драйкулером гликолевый контур зимой переключают трёхходовыми клапанами с конденсатора на теплообменник холодной воды. Один драйкулер делает две работы: летом отводит тепло конденсации, зимой охлаждает воду потребителя.

Рисунок 33 Три схемы свободного охлаждения: теплообменник перед испарителем, градирня с пластинчатым теплообменником, драйкулер конденсатора с переключением на теплообменник холодной воды

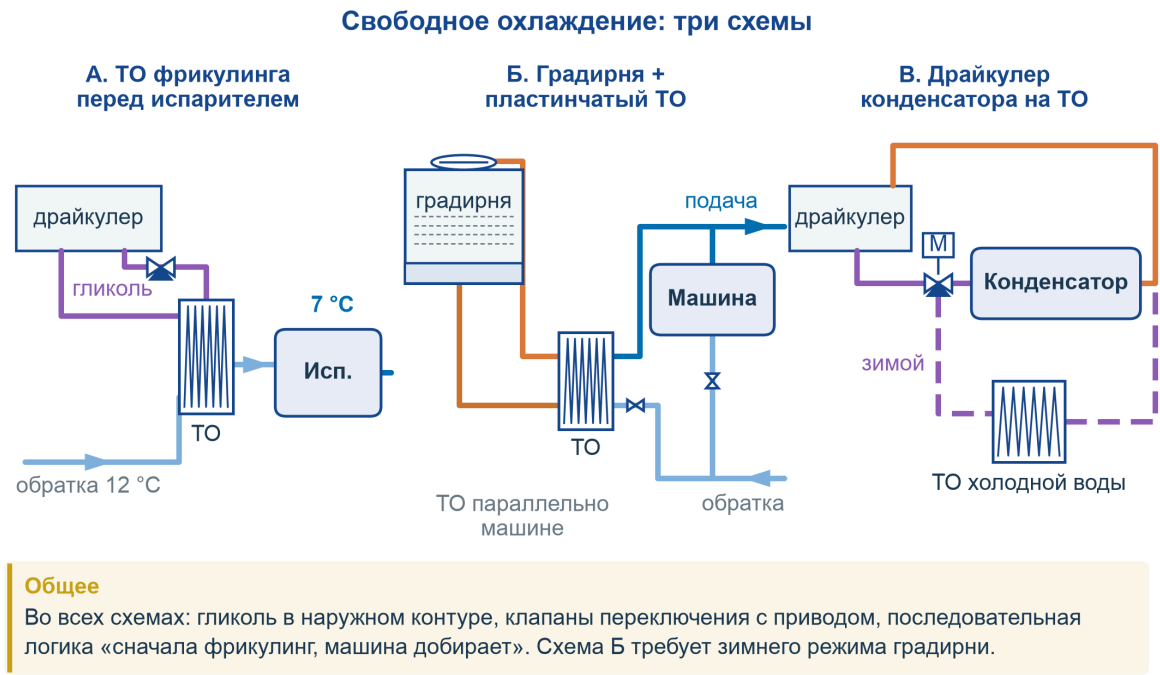


Таблица 27 Как устроено свободное охлаждение

	А. ТО перед испарителем	Б. Градирня + ТО	В. Драйкулер конденсатора на ТО
Работает от	сухого термометра	мокрого термометра	сухого термометра
Вода на улице	нет, гликоль	да, зимний режим градирни	нет, гликоль
Что добавляется в проект	ТО или секция, клапан на гликоле	ТО, клапаны переключения, зимняя обвязка градирни	два трёхходовых клапана, ТО холодной воды

В схемах с драйкулером наружный контур — только на гликоле; в схеме Б вода на улице, и градирне нужен зимний режим. Общее для всех трёх: клапаны переключения с электроприводом и логика «сначала фрикулинг, машина подбирает».

Драйкулер на конденсаторе чиллера: что на схеме.

Схема В строится на связке «чиллер водяного охлаждения + драйкулер». На рисунке — летний режим, гликоль 45/40 °C; для фрикулинга к обвязке добавляют два трёхходовых клапана и теплообменник холодной воды.

Рисунок 34 Чиллер водяного охлаждения NCT с драйкулером NCT: холодная вода 7/12 °C, гликолевый контур конденсатора 40/45 °C со своим баком и подпиткой



Таблица 28 Расшифровка номеров: чиллер и драйкулер

№	Элемент	Что важно для проекта
1	Чиллер NCT водяного охлаждения	испаритель забирает тепло у воды, конденсатор отдаёт его гликолю
2	Зона выемки трубок	свободно на длину аппарата у торца
8	Дренажный кран	слив в нижней точке; гликоль сливают в тару, не в канализацию
10	Автоматический воздухоотводчик	в самой верхней точке подъёма к драйкулеру
13	Насос ин-лайн	рабочий + резервный; гликолевый контур — свои насосы
15	Буферный бак	объём контура холодной воды
16	Мембранный расширительный бак	у каждого контура свой; у гликолевого он больше на кубометр объёма, чем у водяного
17, 18	Узел подпитки водой	кран и защита от обратного потока в водопровод — только на водяном контуре
23	Драйкулер NCT	остужает гликоль наружным воздухом через оребрённые трубки, без испарения воды
24	Бак с готовым раствором	подпитка гликолевого контура только раствором — водой нельзя, раствор разбавится
25	Насос подпитки с обратным клапаном	дожимает раствор в контур до рабочего давления

Гликолевый контур полностью самостоятелен: водопровод к нему не подходит, у него свой бак и своя подпитка раствором. При переводе на фрикулинг (схема В) контур тот же, меняется только направление потока зимой.

7.2. Режимы и температуры переключения

Свободное охлаждение работает, когда улица холоднее воды на сумму перепадов в теплообменниках:

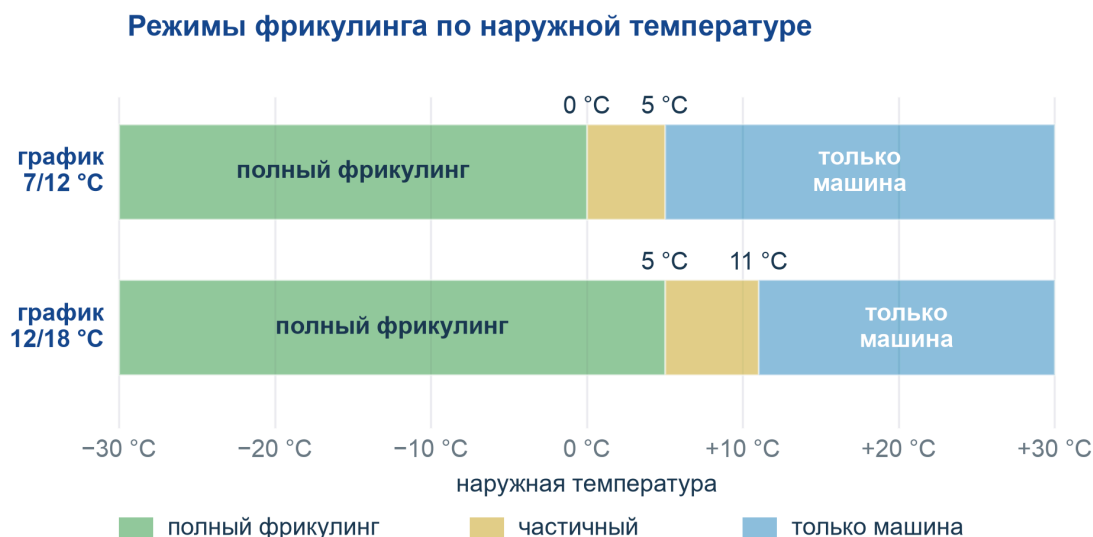
- **частичный режим** — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{обр}} - \Delta$;
- **полный режим** — при $t_{\text{нар}} < t_{\text{под}} - \Delta$,

где $t_{\text{обр}}$ и $t_{\text{под}}$ — обратная и подающая холодная вода, Δ — сумма недоохлаждений (approach) драйкулера или градирни и промежуточного теплообменника. Для драйкулера $t_{\text{нар}}$ — сухой термометр (dry bulb), для градирни — мокрый (wet bulb).

Пример. Холодная вода 7/12 °C. Недоохлаждение драйкулера примем 5 К, теплообменника — 2 К (допущения для показа метода; рабочие значения дают подборы драйкулера и теплообменника).

1. $\Delta = 5 + 2 = 7$ К. 2. Частичный фрикулинг начинается ниже $12 - 7 = 5$ °C. 3. Полный фрикулинг — ниже $7 - 7 = 0$ °C. 4. При графике 12/18 °C (типовой для центров обработки данных) пороги сдвигаются на 6 К вверх: частичный — ниже **11** °C, полный — ниже **5** °C.

Рисунок 35 Режимы фрикулинга по наружной температуре для графиков 7/12 и 12/18 °C 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 .

Отсюда главное правило: **температура холодной воды — основной рычаг свободного охлаждения**. Каждый кельвин подачи вверх сдвигает порог на кельвин и добавляет часы без компрессора.

Таблица 29 Уставки и логика для задания на автоматику.

Шаг	Условие	Действие
1	$t_{\text{нар}} < t_{\text{обр}} - \Delta$	открыть клапан фрикулинга, машина работает на остаток нагрузки
2	$t_{\text{нар}} < t_{\text{под}} - \Delta$ и подача держится без компрессора	остановить компрессоры, машина в резерве

Шаг	Условие	Действие
3	подача выше уставки в полном режиме	пустить компрессор ступенью, фрикулинг не выключать
4	t _{нар} выше порога частичного режима плюс гистерезис	закрыть клапан фрикулинга, работа только машиной

Переходы между режимами делают с гистерезисом (зоной нечувствительности между включением и выключением) и с минимальным временем работы в каждом режиме. Межсезонье — самый частый режим фрикулинга, и именно в нём схема без гистерезиса заставляет машину постоянно включаться и выключаться.

ВНИМАНИЕ

Трёхходовой смесительный клапан в межсезонье. Из опыта эксплуатации: схемы фрикулинга на трёхходовых смесительных клапанах в межсезонье работают неустойчиво и постоянно включают и выключают чиллер. Если такая схема всё же выбрана, гистерезис, минимальное время в режиме и объём контура проверяют расчётом (объём — см. раздел 4).

Переключение клапанов с электроприводом, дискретное или плавное, у чиллеров NCT поставляется опцией «система переключения фрикулинга». Сигналы и алгоритм в целом — раздел 11.

7.3. Часы свободного охлаждения в Москве и Петербурге

Сколько часов в году доступен фрикулинг, считают по климату площадки: число часов с наружной температурой ниже порогов из раздела 7.2. Ниже — наша оценка по реанализу ERA5 (Open-Meteo, 2015–2024, 87 672 часа), мокрый термометр рассчитан по формуле Stull. По Пулково ряд совпал с ASHRAE Climatic Design Conditions 2021 практически точно, по ВДНХ немного занижает (сетка 30 км не видит остров тепла); точность — около $\pm 0,5$ К.

Таблица 30 Часы ниже заданного мокрого термометра: Москва и Петербург

Мокрый термометр ниже	Москва, ч/год	Петербург, ч/год
0 °C	3207 (37 %)	2874 (33 %)
5 °C	4696 (54 %)	4756 (54 %)
10 °C	5971 (68 %)	6086 (70 %)
15 °C	7591 (87 %)	7746 (88 %)
18 °C	8348 (95 %)	8478 (97 %)

Как читать таблицу для разных схем.

- **Схема Б (градирия + теплообменник)** работает от мокрого термометра — часы берут из таблицы напрямую.
- **Схемы А и В (драйкулер)** работают от сухого термометра. Сухой термометр всегда не ниже мокрого, поэтому для драйкулера эти цифры — **верхняя оценка**. Точные часы считают по почасовому ряду сухого термометра для площадки.

Пример: часы по режимам при $\Delta = 7$ К (раздел 7.2), Москва, схема Б.

Таблица 31 Распределение часов по режимам свободного охлаждения

График	Полный фрикулинг	Частичный	Только машина
7/12 °C (пороги 0 и 5 °C)	3207 ч	4696 – 3207 = 1489 ч	4064 ч

График	Полный фрикулинг	Частичный	Только машина
12/18 °С (пороги 5 и 11 °С)	4696 ч	не меньше 5971 – 4696 = 1275 ч	не больше 2789 ч

Для графика 12/18 °С порог частичного режима — 11 °С, а в таблице есть только 10 °С, поэтому часы частичного режима посчитаны с запасом в меньшую сторону. Для сравнения: в нашем расчёте для центра обработки данных на 5000 кВт моноблок с фрикулингом давал около 4500 часов свободного охлаждения в год, сезонный COP рос с 3,0 до 5,5.

ПРИМЕЧАНИЕ

Какую станцию брать. Для объекта в черте Москвы — ВДНХ, для промзон и площадок у аэропортов — Шереметьево. Разница расчётного мокрого термометра между ними 1,4 К (ASHRAE 2021): это остров тепла, и для фрикулинга он отнимает часы.

7.4. Когда фрикулинг окупается: счёт в кВт·ч

Фрикулинг окупается, если сэкономленная энергия компрессоров за год больше энергии, которую добавляет сама система: насосы на сопротивление теплообменника и гликоля, вентиляторы в зимнем режиме. Тариф и цену подставляет заказчик; инженерная часть — баланс в киловатт-часах.

Пример. Центр обработки данных, нагрузка 1000 кВт круглый год, Москва, схема Б, $\Delta = 7$ К. Компрессорная машина в режиме «только машина» — COP 3,0 (принято для примера), то есть $1000 / 3,0 = 333$ кВт электричества.

1. Полный фрикулинг, график 12/18 °С: $4696 \text{ ч} \times 333 \text{ кВт} = 1,56 \text{ млн кВт·ч}$ — компрессоры стоят. 2. Частичный режим: 1275 ч. Примем, что в среднем фрикулинг снимает половину нагрузки (допущение): $1275 \times 167 = 0,21 \text{ млн кВт·ч}$. 3. Итого экономия: около **1,78 млн кВт·ч в год** из $8760 \times 333 = 2,92 \text{ млн кВт·ч}$, то есть около 61 %. 4. Тот же объект на графике 7/12 °С: $3207 \times 333 + 1489 \times 167 = 1,07 + 0,25 = 1,32 \text{ млн кВт·ч}$. 5. **Итог:** переход с 7/12 на 12/18 °С добавляет около 0,46 млн кВт·ч экономии на каждый мегаватт нагрузки.

Что вычесть. Допустим, теплообменник и гликоль добавляют насосам 5 кВт круглый год (условная цифра; в проекте — из подбора насосов на фактическую жидкость, поправки на гликоль — раздел 4): $5 \times 8760 = 0,044 \text{ млн кВт·ч}$, меньше 3 % экономии. Плюс энергия вентиляторов в зимнем режиме — по паспорту драйкулера или градирни.

Оговорка. COP компрессорной машины зимой выше, чем 3,0, поэтому расчёт на постоянном COP даёт верхнюю оценку экономии. Для ТЭО пересчитайте по сезонному COP машины из подбора.

Где фрикулинг не окупается. Экономия появляется только в часы, когда одновременно холодно на улице и есть нагрузка. Комфортное кондиционирование, которое зимой стоит, холодных часов с нагрузкой почти не имеет — там фрикулинг добавит насосам и клапанам больше, чем сэкономит. Окупается он на нагрузках круглый год: центры обработки данных, технологические процессы, серверные.

7.5. Адиабатическое охлаждение конденсатора

Адиабатическое предохлаждение (adiabatic pre-cooling) — дополнительный контур, который распыляет воду в воздух перед теплообменником воздушного конденсатора или драйкулера. Часть тепла воздуха уходит на испарение капель, и воздух на входе в теплообменник холодеет, при-

ближаясь к температуре мокрого термометра. Хладагент или теплоноситель с водой не контактирует, контур остаётся замкнутым.

Что даёт по данным NCT (техничко-коммерческие предложения на чиллеры NARA и NASA с адиабатическим охлаждением, драйкулеры DC с адиабатикой):

- температура воздуха на входе в теплообменник снижается на **5–15 °C** в зависимости от климата;
- машина держит проектную мощность в жару, когда без адиабатики растёт риск аварийного останова;
- вода расходуется только на испарение и только в жаркие периоды — значительно меньше, чем у испарительной градирни той же мощности;
- зимой и в межсезонье система работает «сухой», без воды; адиабатика включается автоматикой выше заданного порога наружной температуры;
- у драйкулеров NCT схема высоконапорная: туман из форсунок испаряется до теплообменника, на оребрении не растут отложения;
- для драйкулера с адиабатикой производитель называет снижение суммарного энергопотребления системы охлаждения на пиковых режимах до **30 %**.

Сколько это в нашем климате. Предел охлаждения воздуха — мокрый термометр. Расчётные значения по ASHRAE 2021 для Москвы (ВДНХ), обеспеченность 0,4 %: сухой термометр 29,9 °C, мокрый 22,1 °C. Значит, в расчётный жаркий час адиабатика может снизить температуру воздуха не больше чем на $29,9 - 22,1 = 7,8$ К, реально — меньше. Нижняя граница из предложений NCT, 5 К, для Москвы реалистична.

Пример: что даёт 5 К на воздушном чиллере.

1. Температура конденсации воздушного чиллера NCT в каталожном режиме — на 15 К выше температуры наружного воздуха: при 35 °C воздуха это 50 °C. 2. Адиабатика снижает воздух на входе на 5 К — конденсация опускается примерно на 5 К. 3. Для R410A около 50 °C каждый кельвин конденсации стоит около 3,2 % мощности компрессора (наш расчёт цикла при 50 и 51 °C). Пять кельвинов — около **16 %**. 4. Чиллер NASA43: компрессоры 48 кВт в режиме 10/5/35 °C. Снижение — около **7,7 кВт** в жаркий час. 5. Часов с сухим термометром выше 28 °C в Москве — около 88 в год (обеспеченность 1 % по ASHRAE). $7,7 \times 88 \approx 0,7$ **тыс. кВт·ч в год**.

Итог: в Москве и Петербурге адиабатика покупает не годовую экономию энергии, а **мощность и надёжность в самые жаркие часы**. Базовый рабочий диапазон моноблоков NASA — до +35 °C наружного воздуха, а абсолютный максимум по СП 131.13330 — 38 °C в Москве и 37 °C в Петербурге. Адиабатика удерживает машину в рабочей зоне, когда воздух выходит за расчётный, и снимает аварии по высокому давлению. Для южных регионов баланс в кВт·ч считают по климату площадки.

Требования к воде и к проекту. Цифр по качеству воды (жесткость, фильтрация), давлению и расходу на форсунки в наших технико-коммерческих предложениях нет — их берут из паспорта адиабатической системы и запрашивают у завода вместе с подбором. Что проект должен заложить в любом случае:

- ввод воды к форсункам с запорной арматурой и защитой водопровода от обратного потока по условиям водоканала;
- слив и отключение линии воды на зиму: адиабатика зимой не работает, а вода в наружной трубе замёрзнет (раздел 10);

- уставку включения адиабатики по наружной температуре — в задание на автоматику (раздел 11);
- место для подхода к форсункам при обслуживании.

ВНИМАНИЕ

Адиабатика не заменяет запас по подбору. Если в жару машина подобрана впритык, а вода на объекте отключается, конденсатор останется без предохлаждения ровно тогда, когда оно нужно. Для непрерывных процессов машину подбирают на расчётную температуру сухим, а адиабатику считают запасом.

Чек-лист раздела 7: свободное охлаждение и адиабатика

- ☐ Выбрана схема фрикулинга (А, Б или В) и обоснована по нагрузке зимой: есть ли холод с нагрузкой в холодные часы.
- ☐ Посчитаны пороги частичного и полного режимов по графику холодной воды и сумме недоохлаждений Δ из подборов.
- ☐ С заказчиком обсуждён график холодной воды: можно ли поднять подачу ради часов фрикулинга.
- ☐ Часы режимов посчитаны по климату площадки; для драйкулера — по сухому термометру, а не по мокрому.
- ☐ Экономия посчитана в кВт·ч за год за вычетом насосов и вентиляторов; COP машины — сезонный, из подбора.
- ☐ Наружный контур с драйкулером — на гликоле, концентрация и поправки посчитаны (раздел 4); для схемы с градирней — зимний режим градирни.
- ☐ Клапаны переключения — с электроприводом; в задании на автоматику — гистерезис и минимальное время работы в режиме.
- ☐ Для адиабатики проверено, что машина тянет расчётный режим и без неё; ввод воды, слив на зиму и уставка включения — на схеме.
- ☐ Параметры воды для адиабатики взяты из паспорта системы или ответа завода, а не по аналогии.

Правило прохода: схема фрикулинга без порогов, гистерезиса и баланса в кВт·ч на выпуск не идёт; адиабатика без ввода и слива воды на схеме — тоже.

8. Выносной конденсатор

Чиллер с выносным конденсатором (condenserless chiller) — машина, разрезанная пополам: компрессорно-испарительный блок стоит в помещении, воздушный конденсатор — на кровле или на земле. Между ними две трубы, и обе проектирует не завод, а проектировщик. Фреоновую трубу подбирают дважды: на полной нагрузке — чтобы не потерять кельвины, на малой — чтобы газ донёс масло до конденсатора.

8.1. Серии, граница ответственности, исходные данные

В линейке NCT выносной конденсатор у двух серий: **NCSA** — спиральные компрессоры, **NCRA** — винтовые. NCSA: 11 моделей от 69 до 621 кВт, линейный ресивер в базовом исполнении (ресивер увеличенного объёма), выход хладагента от -15 до $+20$ °C с растворами гликоля, возможен фрикулинг. Конденсатор подбирают по каталогу конденсаторов под машину.

Две трубы трассы:

- **нагнетательная линия** (discharge line) — перегретый газ от компрессора к конденсатору;
- **жидкостная линия** (liquid line) — жидкий хладагент от конденсатора через ресивер к расширительному вентилю.

Всасывающая линия заводская: испаритель стоит в блоке.

Кто что делает. Машины NCSA и NCRA поставляются под азотом. Заправка хладагентом — на объекте, после сборки фреонпровода. Диаметры труб и необходимую заправку завод может рассчитать после получения характеристик трассы: длина, перепад высот, место установки чиллера и конденсатора. Руководство по эксплуатации NASA/NCSA даёт одно правило по диаметру: **при длине трассы до 15 м** трубы берут диаметром присоединительных патрубков машины. Длиннее — расчёт и письменное подтверждение завода.

Таблица 32 Длина фреоновой трассы и решение

Длина трассы	Решение
до 15 м	трубы по диаметру патрубков машины (руководство NCT)
15–50 м	расчёт этого раздела плюс подтверждение завода; каждый лишний метр — падение давления, дозаправка и риск невозврата масла
больше 50 м	сравнить с драйкулером на гликоле: трасса водяная и может быть на порядок длиннее

Что собрать до расчёта (это же уходит на завод при запросе): хладагент, число контуров, мощность и минимальную ступень каждого контура; температуру конденсации при расчётном воздухе; длину трассы с числом отводов и арматуры; разность отметок блок — конденсатор и её знак; работу зимой и минимальную температуру воздуха (раздел 10); объём помещения с блоком (раздел 8.6).

Рисунок 36 Компрессорно-испарительный блок NCT в помещении и выносной конденсатор NCT на кровле: газ около 70 °С идёт вверх через петли, жидкость около 40 °С спускается через ресивер, фильтр-осушитель, смотровое стекло и соленоид

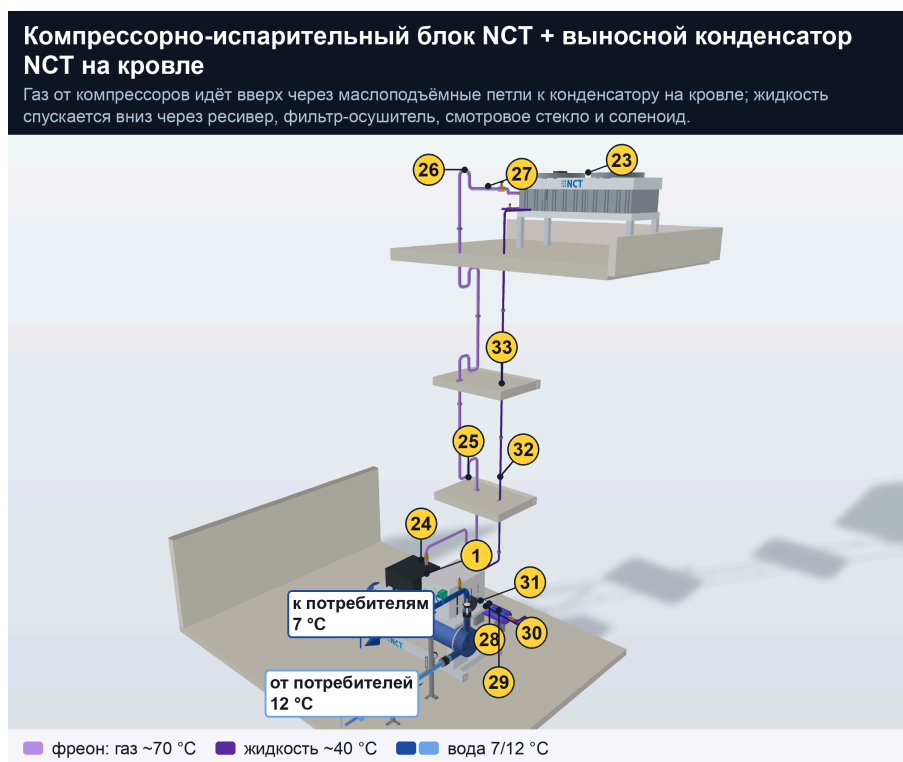


Таблица 33 Расшифровка номеров: выносной конденсатор

№	Элемент	Что важно для проекта
1	Компрессорно-испарительный блок NCT	компрессоры и испаритель
23	Выносной воздушный конденсатор NCT	газ конденсируется наружным воздухом
24	Запорный вентиль	на выходе блока и у конденсатора
25	Маслоподъёмная петля (U-образная ловушка)	у основания стояка и далее через каждые 3–3,5 м подъёма (руководство NCT)
26	Обратная петля вверху стояка	при останове жидкость и масло не стекают в стояк
27	Уклон горизонтали к конденсатору	15 мм/м по ходу газа: масло не стекает обратно в компрессор
28	Линейный ресивер	запас жидкости, приём заправки при ремонте
29	Фильтр-осушитель	влага — это лёд в вентиле и кислота в масле
30	Смотровое стекло с индикатором влаги	сплошная жидкость без пузырей, сухо ли в контуре
31	Соленоидный клапан жидкостной линии	при останове хладагент не натекает в испаритель
32	Хомуты стояков	шаг 1–1,5 м (руководство NCT)
33	Гильза в перекрытии	труба не трётся о бетон

Узел жидкостной линии (28–31) занимает около метра вдоль блока; это место и подход с весами для заправки оставляют на компоновке сразу (раздел 9).

8.2. Потери в линиях: считаем в кельвинах

Потери в нагнетании поднимают давление нагнетания при той же температуре конденсации, поэтому их меряют в кельвинах насыщения:

$\Delta T = \Delta p / (dp/dT)$, где dp/dT — наклон кривой насыщения при температуре конденсации. Для R410A при 50 °C — 70,5 кПа/К: 70 кПа потеря в нагнетании — это целый кельвин.

Критерий (по данным производителей и мировой практике): не больше **1,1 К** насыщения на нагнетательную и на жидкостную линию; по жидкости стараться уложиться в 0,5 К, потому что потери съедают переохлаждение (раздел 8.4). Для машин с электронным расширительным вентилем потери в нагнетании при полной нагрузке — не больше 2,2 К.

Эквивалентная длина (equivalent length). На стадии П к фактической длине добавляют **50 %** на отводы и арматуру; на стадии Р считают поштучно по каталогу фитингов.

Пример. Контур NCSA на R410A: 142 кВт (машина 284 кВт, два контура). Кипение 3 °C, конденсация 50 °C (35 °C воздуха плюс 15 К), переохлаждение 4 К. Трасса: горизонталь у блока 8 м, стояк 11 м, горизонталь на кровле 6 м — **25 м**.

1. Массовый расход хладагента — 0,943 кг/с; газ на нагнетании — около 30,7 бар и 86 °C, плотность 96 кг/м³ (расчёт по свойствам хладагента). 2. Эквивалентная длина: 25 × 1,5 = **37,5 м**. 3. Столб газа в стояке 11 м: 96 × 9,81 × 11 = 10,4 кПа = **0,15 К**.

Таблица 34 Потери в линиях: считаем в кельвинах

Нагнетание, мм	Скорость, м/с	Трение на 37,5 м, К	Итого со столбом, К
35 × 1,2	11,7	1,26	1,41 — не проходит
42 × 1,2	7,9	0,48	0,63 — проходит
54 × 1,5	4,8	0,14	0,28

Ответ: нагнетание **42 × 1,2 мм**, если его пропустит проверка скорости на малой нагрузке (раздел 8.3).

Цена лишних кельвинов. Каждый кельвин конденсации в этом примере — около 3,2 % мощности компрессора. Труба 35 мм вместо 42 мм добавляет 1,41 – 0,63 = 0,78 К, это 2,4 кВт на машину. За 3000 часов работы — **7200 кВт·ч в год** только из-за диаметра.

8.3. Масло: скорость в стояке, петли, двойной стояк

Компрессор всегда выбрасывает часть масла с газом. На горизонтали масло течёт по уклону, на подъёме — только если газ несёт его вверх. Поэтому стояк проверяют не на полной нагрузке, а на **минимальной ступени** контура.

Минимальная скорость газа в стояке нагнетания (по данным производителей, худший случай — конденсация 26,7 °C):

Таблица 35 Масло: скорость в стояке, петли, двойной стояк

Диаметр, мм	35	42	54	67	79
Минимум в подъёме, м/с	2,4	2,6	3,0	3,4	3,7

В горизонтали и на опуске допускают 75 % этих значений, максимум для нагнетания — 17,5 м/с. Если производитель машины даёт свои цифры, приоритет у них.

Продолжаем пример, стояк 42 мм: полная нагрузка — 7,9 м/с; 50 % (один компрессор из двух) — 4,0 м/с, проходит; 33 % — 2,6 м/с, ровно на границе; 25 % — 2,0 м/с, масло не поднимется. Петли завышенный диаметр не лечат.

Двойной стояк (double riser) — две параллельные трубы на подъёме. Малый стояк А без сифона подбирают на минимальную ступень; большой В с сифоном внизу — чтобы вместе с А уложиться в потери на полной нагрузке. Наверху оба входят в горизонталь сверху. На малой нагрузке масло заполняет сифон В и перекрывает его, весь газ идёт по А; при росте нагрузки давление выталкивает пробку.

Пример: контур 142 кВт, минимальная ступень 25 %. Стояк А 28 × 1 мм — на 25 % нагрузки 4,6 м/с, масло поднимается. Стояк В 42 × 1,2 мм — на полной нагрузке газ делится: в А 4,6 м/с, в В 6,0 м/с, потери на 11 м стояка 0,08 К.

Рисунок 37 Двойной стояк нагнетания: на полной нагрузке газ идёт по обоим стоякам, на 25 % сифон большого стояка залит маслом и газ идёт только по малому



Двойной стояк переключается сам: масло в сифоне большого стояка работает как клапан

ВНИМАНИЕ

Двойной стояк — только по решению завода. Для машин NCT он не описан в руководствах. Если минимальная ступень не проходит проверку скорости, это вопрос к заводу со всеми исходными данными. Ошибка в двойном стояке хуже, чем его отсутствие. Альтернатива — маслоотделитель на нагнетании.

Петли и уклоны по руководству NCT:

- маслоподъёмные петли у основания стояка и через каждые 3–3,5 м подъёма; наверху — обратная петля;
- для подъёма 11 м с шагом 3,5 м — **4 петли** на отметках 0; 3,5; 7; 10,5 м;
- горизонтالي нагнетания — с уклоном не меньше **15 мм/м** к конденсатору;
- нельзя крепить трассу к чужим коммуникациям и заделывать паяные соединения в штрабы;

- петли не делают из уголков, перед петлёй трубу не заужают, гнут с радиусом больше 3,5 диаметра;
- дозаправка масла на петлю радиусом $3d$: 42 мм — 160 мл, 54 мм — 360 мл. Четыре петли 42 мм — **640 мл**.

Рисунок 38 Блок на отметке 0 и конденсатор на кровле +11 м: четыре маслоподъёмные петли, обратная петля, уклон 15 мм/м, узел жидкостной линии около 1 м у блока



Для блока с выносным конденсатором компоновка — это отметки: сколько метров вверх, столько и петель

8.4. Конденсатор выше или ниже: переохлаждение

Жидкость должна дойти до расширительного вентиля без пузырей пара. Запас на это — переохлаждение (subcooling): на сколько жидкость холоднее температуры насыщения при своём давлении. Его съедают трение в трубе и арматуре, подъём жидкости и нагрев на солнце.

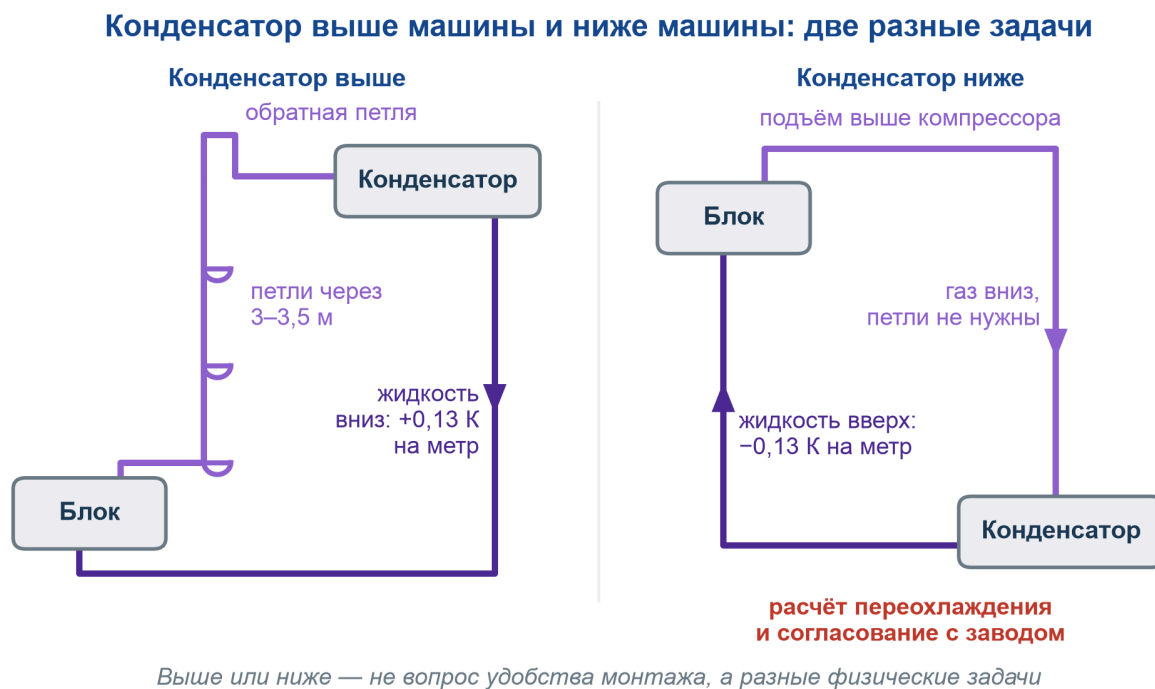
Ориентиры (по данным производителей): у вентиля — не меньше **2,8 К** переохлаждения на всех режимах; скорость жидкости — не больше 3 м/с.

Каждый метр подъёма жидкости съедает переохлаждение: R410A при 50 °C — 0,13 К/м, R407C при 45 °C — 0,22 К/м, R134a при 45 °C — 0,37 К/м.

Конденсатор выше блока. Жидкость спускается, столб работает в плюс — в расчёт идёт только трение. Нужны петли на нагнетании и обратная петля наверху.

Конденсатор ниже блока. Трение и подъём складываются. *Пример:* R410A, конденсатор на 8 м ниже, переохлаждение на выходе 4 К, жидкостная линия 37,5 м эквивалентной длины. Труба 28 × 1: трение 0,48 К, подъём $8 \times 0,13 = 1,01$ К, остаток **2,51 К** — меньше 2,8. Труба 35 × 1,2: остаток **2,83 К** — на границе, без запаса на солнце и засорённый фильтр-осушитель. Одной трубой задачу не решить: нужен источник дополнительного переохлаждения или другая компоновка, и это решение завода.

Рисунок 39 Конденсатор выше машины — петли на нагнетании, жидкость вниз; конденсатор ниже — газ вниз без петель, жидкость вверх теряет 0,13 К на метр (R410A)



При конденсаторе ниже блока нагнетание на выходе из блока сначала поднимают выше компрессора, чтобы при останове жидкость не стекала в компрессор. Жидкостную линию на кровле изолируют и закрывают кожухом от солнца (опция NCT): кельвин нагрева — кельвин переохлаждения.

8.5. Заправка и ресивер

Базовую заправку машины и конденсатора даёт паспорт. Трассу считает проектировщик: хлад-агент закупают до пуска.

Таблица 36 Заправка и ресивер

Труба, мм	Жидкость, кг/м	Газ нагнетания, кг/м
28 × 1	0,50	0,05
35 × 1,2	0,79	0,08
42 × 1,2	1,16	0,12
54 × 1,5	1,93	0,20

R410A, 50 °C, расчёт по внутреннему сечению и плотности.

Пример: трасса 25 м, жидкость 28 × 1 — 12,5 кг, нагнетание 42 × 1,2 — 3,0 кг. Итого **15,5 кг R410A на контур** сверх паспорта, плюс 640 мл масла на петли.

Ресивер (receiver) принимает заправку при ремонте и выравнивает количество жидкости между летом и зимой. Контур NCT заправляют через ресивер, критерий — уровень в его нижнем смотровом стекле. Если зимой давление конденсации держат затоплением конденсатора, ресивер должен вмещать **всю заправку системы**, а сама заправка может вырасти до двух раз (раздел

10.4). Объём по вместимости: 1 кг R410A при 50 °C — около 1,1 л; допустимое заполнение задаёт изготовитель ресивера.

ВНИМАНИЕ

Жидкость между двумя закрытыми вентилями. Участок жидкостной линии, полностью заполненный жидкостью и запёртый с двух сторон, при нагреве разрывает трубу. На схеме проверяют каждый отсекаемый жидкостный участок: есть ли выход давлению через предохранительный клапан.

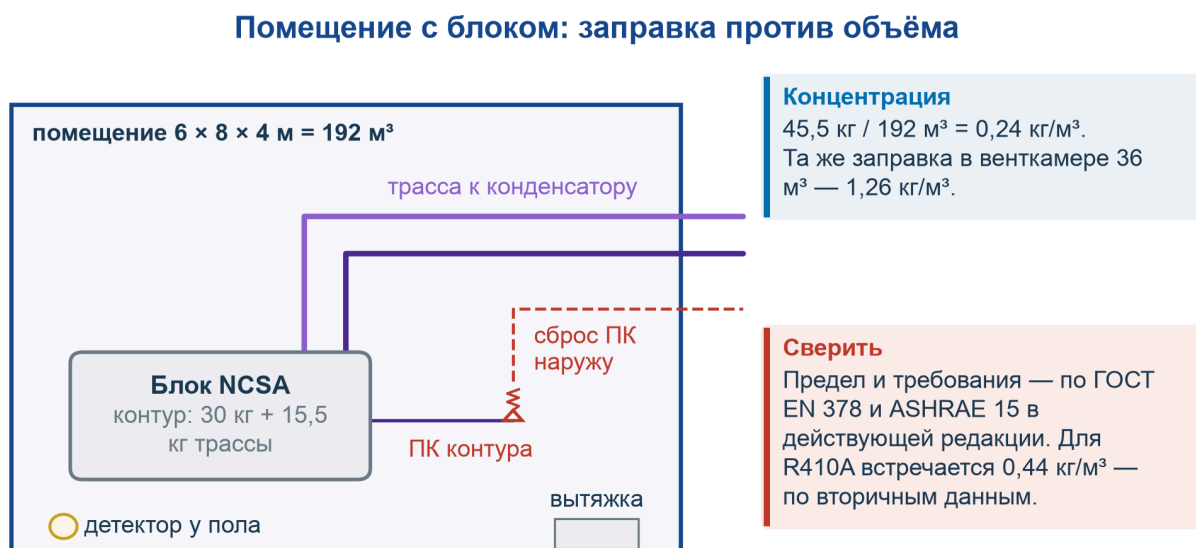
8.6. Помещение блока

Требования к помещению задают ГОСТ EN 378-2014 «Системы холодильные и тепловые насосы» (на него ссылается руководство NASA/NCSA) и ГОСТ 12.2.233-2012 «Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт. Требования безопасности». Конкретные требования — детекторы, аварийная вентиляция, двери — выписывают из действующей редакции стандарта.

Проверка по концентрации: масса заправки самого большого контура / объём помещения — и сравнение с пределом для хладагента из стандарта. Для R410A в EN 378 редакции 2008 года встречается $0,44 \text{ кг/м}^3$ — сверьте с действующей редакцией.

Пример: паспорт 30 кг на контур плюс 15,5 кг трассы — 45,5 кг. Помещение $6 \times 8 \times 4 = 192 \text{ м}^3$: **$0,24 \text{ кг/м}^3$** . Тот же блок в венткамере $3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ м}^3$: **$1,26 \text{ кг/м}^3$** , втрое выше предела. Трасса 25 м увеличила заправку на треть и может перевести помещение в машинное отделение.

Рисунок 40 Помещение с блоком NCSA: заправка против объёма, детектор у пола, вытяжка, сброс предохранительного клапана наружу



Трасса увеличивает заправку, а заправка определяет, каким должно быть помещение

Пары распространённых фреонов тяжелее воздуха — детектор и забор аварийной вытяжки ставят внизу. Сбросные линии предохранительных клапанов конденсатора и ресивера выводят наружу, в безопасное место; в плане это трасса, которую рисуют сразу. Вокруг конденсатора нужен свободный проток воздуха: ограждение не выше установки (руководство NCT).

Чек-лист раздела 8: выносной конденсатор

- ☐ Собраны исходные данные: хладагент, контуры, минимальная ступень, длина трассы, отметки и знак разности высот.
- ☐ Трасса длиннее 15 м или конденсатор ниже блока — на завод отправлен запрос с цифрами, получен письменный ответ.
- ☐ Эквивалентная длина посчитана (+50 % на стадии П или поштучно на стадии Р).
- ☐ Нагнетание: потери со столбом газа не больше 1,1 К на полной нагрузке.
- ☐ Скорость газа в стояке на минимальной ступени не ниже минимума для диаметра.
- ☐ Жидкость: скорость не больше 3 м/с, остаток переохлаждения у вентиля не меньше 2,8 К.
- ☐ Добавка хладагента на трассу (кг) и масла на петли (мл) — строкой в спецификации.
- ☐ Ресивер вмещает всю заправку, если зимой используется затопление; зимний комплект в спецификации при круглогодичной работе (раздел 10).
- ☐ Концентрация хладагента в помещении сверена с пределом действующего стандарта; сбросы клапанов выведены наружу; каждый запираемый жидкостный участок защищён.
- ☐ Петли, обратная петля и уклон 15 мм/м нарисованы узлами с размерами.

Правило прохода: трасса длиннее 15 м или с конденсатором ниже блока без письменного подтверждения завода на выпуск не идёт; выносная схема для круглогодичной работы без зимнего комплекта и ресивера на всю заправку — тоже.

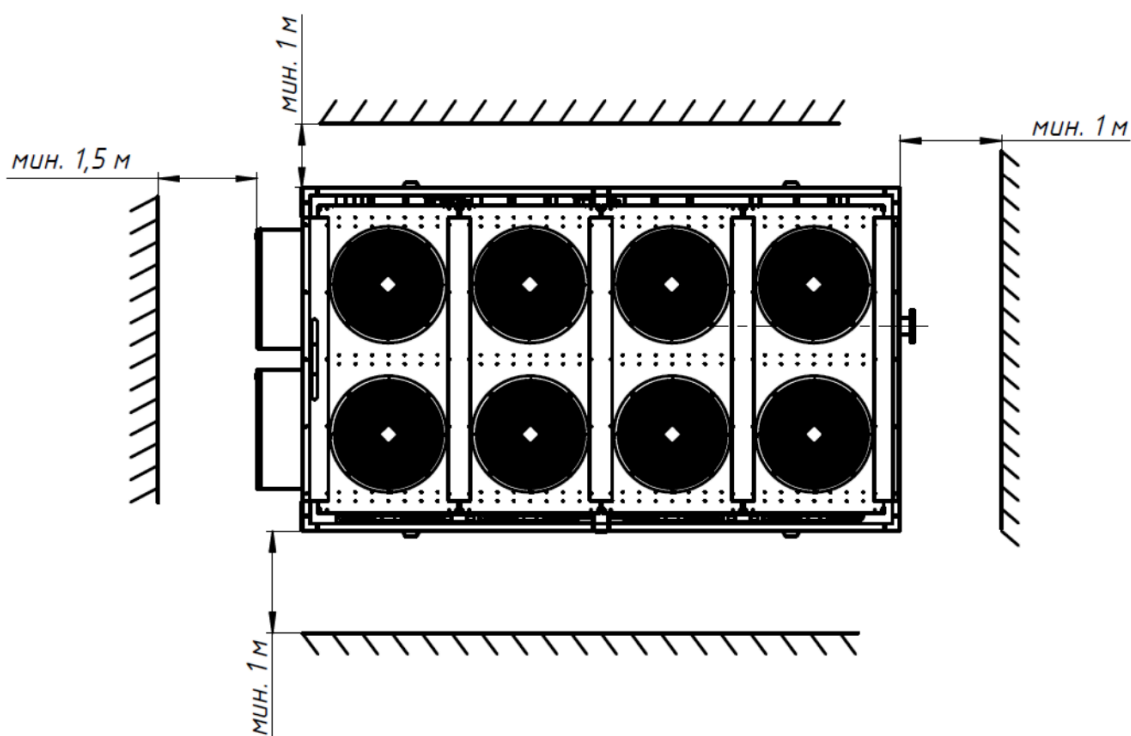
9. Размещение

Место под чиллер решают раньше, чем трассы и щиты, а исправить потом труднее всего. Воздушной машине нужен свободный воздух. Водяной нужно место у торцов аппаратов, проход для тележки и путь, по которому её занесут.

9.1. Воздушный чиллер на площадке и кровле

Зоны обслуживания. Руководство по эксплуатации NCT NASA/NCSA задаёт минимальные отступы до стен и ограждений: со стороны щита управления — не меньше 1,5 м, с остальных трёх сторон — не меньше 1 м. Для других серий отступы берут из габаритного чертежа модели.

Рисунок 41 Минимальные отступы воздушного чиллера NCT NASA/NCSA: 1,5 м со стороны щита управления, 1 м с остальных сторон (по руководству по эксплуатации)



Ограждение. Руководство NCT формулирует правило прямо: если вокруг установки есть ограждение, его высота не должна превышать высоту установки. Если ограждение выше, ставят заставки, регулирующие расход воздуха, чтобы к конденсатору поступал свежий воздух. Там же рекомендация размещать машину в зоне с ограниченным доступом.

Соседние машины и стены. Для воздушных конденсаторов производители дают ориентир — не ближе 1,2 м к стене и между соседними аппаратами. Для чиллера-моноблока расстояние между машинами берут по паспорту модели. Нет цифры в паспорте — запрос заводу, а не «на глаз».

Рециркуляция горячего воздуха. Вентиляторы конденсатора выбрасывают нагретый воздух вверх. Если машина стоит в приямке, у глухой стены, за высоким ограждением или вплотную к соседней, часть этого воздуха возвращается на вход. Конденсатор работает на воздухе теплее уличного, и давление конденсации растёт.

ВНИМАНИЕ

Климат по норме — это не воздух на входе. СП 131.13330 даёт температуру наружного воздуха. Конденсатор на кровле получает воздух, нагретый солнцем, кровельным покрытием и выбросом соседних машин. Поправку на место установки проектировщик назначает сам и объясняет в записке.

Цена рециркуляции считается через температуру конденсации. По данным производителей, каждый градус роста температуры конденсации прибавляет компрессору 1,8–4,0 % потребления; для прикидки берут 3 % на градус.

Пример расчёта. Машина 1000 кВт холода, на 1 кВт электричества она даёт 4 кВт холода (условно; точная цифра — из подбора). Рециркуляция подняла температуру конденсации на 2 °С.

1. Мощность компрессоров: $1000 / 4 = 250$ кВт. 2. Прирост: $250 \times 3 \% \times 2 = 15$ кВт. 3. За 5000 часов работы в год: $15 \times 5000 = 75\,000$ кВт·ч лишнего электричества.

Снег. Зимой к рециркуляции добавляется занос. Машину или конденсатор на низких опорах заметает, и воздух идёт по кругу. Высоту опорной рамы назначают с учётом снегового покрова района. Зимние режимы, комплект зимнего пуска и регулирование давления конденсации — в разделе 10.

Кровля. Машина ставится на несущие конструкции, а не на кровельный пирог. Конструктору выдают массу машины в рабочем состоянии, с водой или гликолем в испарителе, схему опирания и координаты опор. Место согласуют с несущей способностью до выпуска стадии П.

Виброизоляция. Компрессоры и вентиляторы — источники вибрации. Виброопоры чиллера NCT поставляются опцией; на патрубках руководство NCT рекомендует виброгасящие рукава на границе подключения к системе.

Виброизолятор работает, только если его собственная частота заметно ниже частоты возбуждения. Для опоры без демпфирования:

$$f_0 = 15,8 / \sqrt{\delta} \quad (f_0 — \text{Гц}, \delta — \text{статическая осадка под весом, мм}),$$

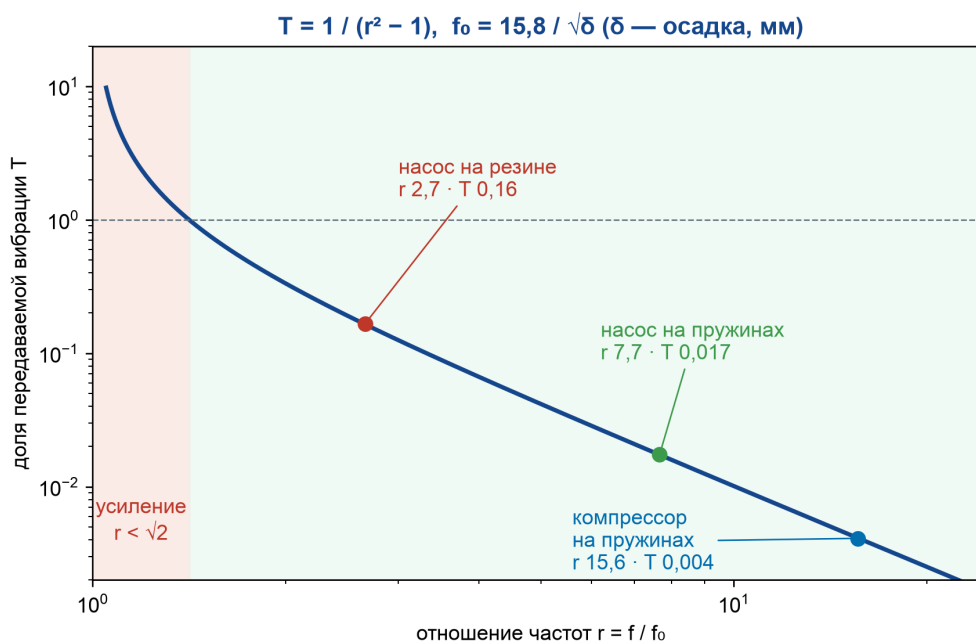
доля передаваемой вибрации $T = 1 / (r^2 - 1)$, где $r = f / f_0$. При $r < \sqrt{2}$ изолятор вибрацию не гасит, а усиливает.

Таблица 37 Воздушный чиллер на площадке и кровле

Осадка опоры, мм	f_0 , Гц	Насос, 24 Гц (1450 об/мин)	Компрессор, 49 Гц (2950 об/мин)
3 (резина)	9,1	0,16	0,035
10 (мягкая опора)	5,0	0,045	0,011
25 (пружина)	3,16	0,017	0,004

Над жилыми и офисными помещениями закладывают пружины и упругие подвесы трубы на первых метрах от машины, иначе вибрация уйдёт по трубе. Формула — для прикидки; изоляторы подбирает производитель по массе и центру тяжести машины.

Рисунок 42 Доля передаваемой вибрации от отношения частот: левее $\sqrt{2}$ изолятор усиливает вибрацию, пружина гасит её на порядок лучше резины



Изолятор работает только справа от $\sqrt{2}$: резина гасит насос наполовину хуже, чем кажется, пружина — на порядок лучше

Шум. Уровни звука складываются не арифметически:

$$L_{\text{сум}} = 10 \cdot \lg \sum 10^{(L_i/10)}.$$

Две одинаковые машины дают +3 дБ, четыре — +6 дБ, десять — +10 дБ. С расстоянием уровень точечного источника на открытом месте падает на 6 дБ при каждом удвоении:

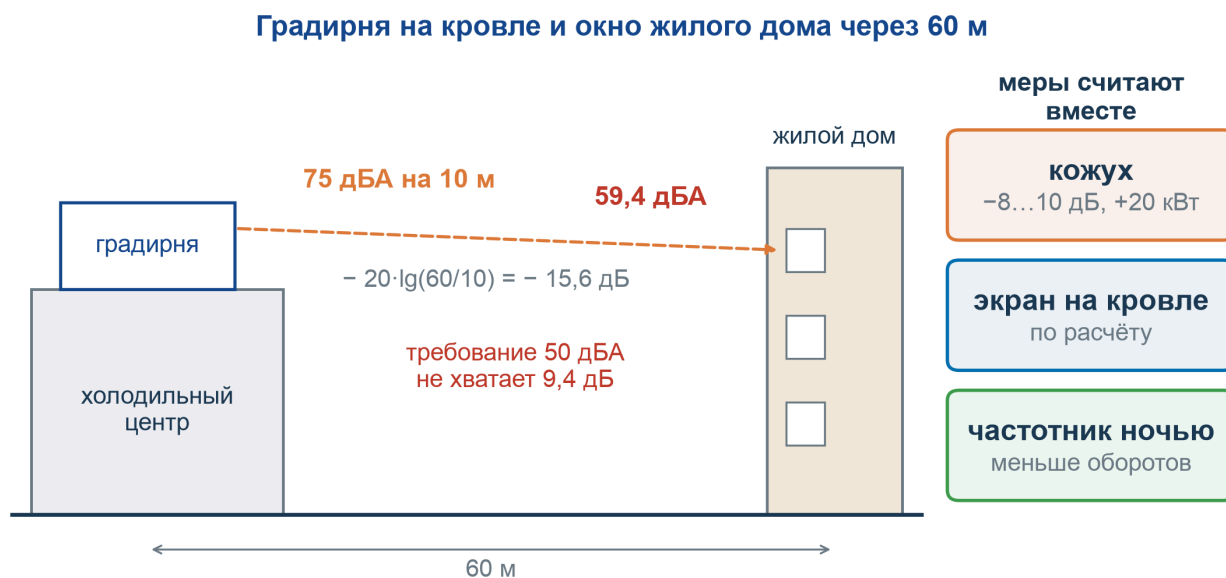
$$L_2 = L_1 - 20 \cdot \lg(r_2 / r_1).$$

Пример. Источник на кровле по паспорту даёт 75 дБА на 10 м (для показа метода). До окна жилого дома 60 м, требование у окна — 50 дБА (норматив — по действующим санитарным нормам).

1. Ослабление расстоянием: $20 \cdot \lg(60 / 10) = 15,6$ дБ. 2. У окна: $75 - 15,6 = 59,4$ дБА. 3. Не хватает: $59,4 - 50 = 9,4$ дБ.

Одной мерой такую разницу обычно не закрыть. Считают вместе: малошумный конденсатор, шумоглушители вентиляторов (могут потребовать замены двигателя), снижение оборотов ночью, экраны, другое место. Требование вроде «не больше 40 дБА» заводскими опциями полностью не решается — нужны экраны на объекте. Другой ход — выносной конденсатор или драйкулер с увеличенным теплообменником и пониженной скоростью вентиляторов (раздел 8).

Рисунок 43 Затухание шума с расстоянием на примере градирни на кровле; для воздушного чиллера метод тот же



Расстояние — самый дешёвый глушитель: каждое удвоение даёт минус 6 дБ, а кожух — минус 8–10 ценой 20 кВт

9.2. Машинный зал для водяных чиллеров

Компоновку зала начинают с пустоты: сначала зоны выемки трубок, обслуживания щитов и путь заноса, потом оборудование, последними — трассы.

Зона выемки трубок. Кожухотрубный испаритель и конденсатор (shell-and-tube) обслуживают с торца: снимают крышку водяной камеры, проходят трубки ершом, повреждённую трубку вынимают целиком. У торца нужно свободное место на длину трубок — зона выемки трубок (tube pull clearance). Пластинчатому аппарату нужно место для разборки пакета — по чертежу аппарата.

Правило «три длины». Если трубки испарителя вынимают с одного торца, а конденсатора — с другого, зал получается длиной в три длины машины: машина посередине, по её длине свободно с каждой стороны. Если чертёж разрешает выемку обоих аппаратов с одного торца, длина зала — $2L$ плюс зона у второго торца по чертежу.

Расчёт размеров зала.

Дано. Две машины длиной $L = 3,5$ м, шириной $B = 1,3$ м, высотой $h = 2,0$ м (для показа метода). Между машинами 2 м, со стороны щита 1,2 м, у противоположной стены 1 м, над машиной 1,5 м под трассы.

1. Длина: $3 \cdot L = 3 \cdot 3,5 = 10,5$ м. 2. Ширина: $1,0 + 1,3 + 2,0 + 1,3 + 1,2 = 6,8$ м. Формула для прикидки: $W \approx 2B + 4$. 3. Высота в чистоте: $2,0 + 1,5 = 3,5$ м до низа выступающих конструкций. 4. Пятно: $10,5 \cdot 6,8 = 71 \text{ м}^2$.

Проверка. Для машины $5 \times 3 \times 4$ м тот же метод даёт зал 15×10 м и высоту 5,5 м. Это совпадает с реальными холодильными центрами на 5000 кВт из двух машин: $15 \times 8\text{--}10$ м, $120\text{--}150 \text{ м}^2$, высота от 5,5 м.

В записке указывают, из какого чертежа взята каждая зона.

Зона выемки не пустует. В неё ставят насосные группы, если соблюдены три условия: насосы стоят ниже оси аппаратов на низких рамах; трубы от насосов уходят вниз или вбок, а не стояками поперёк оси; узел, который всё же пересекает ось, собран на фланцах и снимается без сварки. Проверка простая: в 3D-модели вдоль оси каждого аппарата проводят цилиндр длиной трубок и смотрят, что он пересекает.

Рисунок 44 План зала из двух машин: зоны выемки испарителей и конденсаторов, насосы ниже оси аппаратов, щиты со своей зоной обслуживания

План зала типового объекта: 2 машины 3,5 × 1,3 м, масштаб 1 м = 8 ед.



Зона выемки не пустует: в ней стоят насосы, но ниже оси трубок и без стояков поперёк неё

Проходы, щиты, таль.

- Ширину главного прохода задаёт самая крупная съёмная деталь — двигатель, насос, компрессор, частотный преобразователь — плюс тележка.
- Перед щитами — своя зона обслуживания 1,0–1,2 м, отдельно от прохода для заноса. Конкретное значение — по действующей редакции ПУЭ и по тому, обслуживается щит с одной или двух сторон.
- Над линией насосов — монорельс или точки подвеса тали и высота, при которой двигатель снимается вертикально.

ВНИМАНИЕ

Над щитом воды нет. Конденсат с изоляции, течь фланца, выброс воды из воздухоотводчика при заполнении — всё это попадает в щит. Если обойти щит нельзя — поддон с отводом и ни одного разъёмного соединения на этом участке.

Трассы в разрезе. Над зоной выемки трасс нет, над машиной — ничего, что мешает снять крышки водяных камер. Силовые и слаботочные лотки разводят на 200–300 мм, кабель не кладут под водяными трубами. Каналы в полу годятся для дренажей, но не для холодной воды: изоляция там мокнет.

Фундамент. Задание конструктору содержит массу машины с водой, схему опирания из чертежа завода и нагрузку на опору, а не «вес машины». Виброизоляция — по расчёту из раздела 9.1.

Путь заноса. Проверяют весь путь от места разгрузки до фундамента:

- проём — не меньше наименьшего сечения машины плюс запас на такелаж по проекту производства работ;
- повороты коридоров — прямоугольник машины поворачивают на плане вокруг внутреннего угла;
- перекрытия по пути — транспортный вес сосредоточенно на катках;
- балки, трубы и лотки по пути.

ВАЖНО

Проём не по каталогу. Каталог даёт габарит машины, а не транспортный габарит с рамой, упаковкой и выступающими патрубками. Размер проёма — по транспортному чертежу завода, запрошенному до выпуска стадии Р.

Если машина не проходит: изменить проём на стадии проекта, заказать машину в разобранном виде со сборкой внутри, бак собрать в зале из секций.

Вентиляция зала. Производители водяных чиллеров задают условия в помещении: 4–40 °С, влажность до 95 % без конденсации (для своей машины — по паспорту). Зимой зал отапливают, летом уводят тепло двигателей, частотных преобразователей и самих машин.

Пример. Двигатели насосов 30 кВт отдают в зал около 10 % — 3,0 кВт. Частотные преобразователи на 20 кВт насосной мощности — 2–4 %, берём 3 % — 0,6 кВт. Машины по паспорту — 4 кВт (для показа метода). Снаружи +28 °С, в зале допускаем +35 °С, $\Delta t = 7$ К.

1. Тепловыделения: $3,0 + 0,6 + 4,0 = 7,6$ кВт. 2. Расход воздуха: $L = Q / (c \cdot \rho \cdot \Delta t) = 7,6 / (1,005 \cdot 1,2 \cdot 7) = 0,90$ м³/с = **3240 м³/ч**. 3. Объём зала $10,5 \cdot 6,8 \cdot 3,5 = 250$ м³, кратность **13 в час**.

Холодные трубы в изоляции в расчёт не входят.

Хладагент в помещении. Для фреоновых машин требования к помещению задают ГОСТ EN 378-2014 «Системы холодильные и тепловые насосы» и ГОСТ 12.2.233-2012 (ISO 5149:1993); мировая практика — EN 378 и ASHRAE 15. Принцип у всех один: концентрация хладагента в помещении, если заправка самого большого контура выйдет наружу целиком, не должна превышать предела стандарта.

концентрация = масса заправки самого большого контура / объём помещения

Пример. Паспортная заправка контура 30 кг плюс 15,5 кг на трассу выносного конденсатора — 45,5 кг. В зале $6 \times 8 \times 4$ м = 192 м³ концентрация 0,24 кг/м³. Тот же блок в венткамере $3 \times 4 \times 3$ м = 36 м³ даёт 1,26 кг/м³. Трасса добавила треть заправки — и может перевести помещение в машинное отделение с особыми требованиями. Предел для своего хладагента берут из действующей редакции стандарта.

Что это меняет в компоновке:

- пары распространённых фреонов тяжелее воздуха — детектор утечки и забор аварийной вытяжки ставят внизу, по требованиям стандарта;
- воздухопроводы машинного отделения не обслуживают другие помещения, выброс — наружу в безопасное место (принцип ASHRAE 15);

- сбросные линии предохранительных клапанов — трубой наружу, их трассу рисуют сразу;
- проходы труб через стены уплотняют с тем же пределом огнестойкости, что у стены (EN 378, часть 3).

Чек-лист раздела 9: размещение

- ☐ Отступы воздушного чиллера по паспорту нанесены на план (для NASA/NCSA — 1,5 м со стороны щита, 1 м с остальных), ограждение не выше машины или с заслонками.
- ☐ Проверено, что горячий воздух не возвращается на вход: нет приямка, глухой стены рядом, соседней машины вплотную; поправка климата на место установки — в записке.
- ☐ Высота опорной рамы назначена с учётом снегового покрова, кровля проверена на массу машины с водой.
- ☐ Виброизоляция подобрана расчётом ($r > \sqrt{2}$), гибкие вставки и упругие подвесы трубы заложены.
- ☐ Уровень шума у ближайшего нормируемого окна посчитан, меры перечислены.
- ☐ Зоны выемки трубок и обслуживания щитов взяты из чертежа завода и проверены цилиндром в 3D.
- ☐ Над щитами и зоной выемки нет водяных труб, лотки разведены на 200–300 мм.
- ☐ Путь заноса проверен по транспортному чертежу: проём, повороты, перекрытия.
- ☐ Вентиляция зала посчитана по тепловыделениям, концентрация хладагента — по самому большому контуру с трассой.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — компоновку не выпускаем.

10. Зима

Зимой у чиллерной две задачи. Первая — не разморозить воду: в испарителе, в насосе, в уличной трубе, пока насос стоит. Вторая — не дать воздушному конденсатору слишком хорошо работать: в мороз давление конденсации падает, и машина уходит в аварию по низкому давлению или теряет масло. Обе задачи решают на схеме и в спецификации, а не на пусконаладке.

Расчётные зимние температуры по СП 131.13330 «Строительная климатология»: холодная пятидневка обеспеченностью 0,92 — -26°C в Москве и -24°C в Петербурге, абсолютный минимум — -43 и -36°C .

10.1. Защита от замерзания: выбрать одно из трёх

Для каждого участка, где вода может оказаться на морозе, проект выбирает одно решение и пишет его на схеме.

Таблица 38 Защита от замерзания: выбрать одно из трёх

Решение	Когда подходит	Что в проекте
Гликоль в контуре	машина или трасса на улице работает зимой	концентрация, поправки к мощности, расходу и насосу, бак больше (раздел 4)
Слив на зиму	холод зимой не нужен, есть регламент	дренажи в нижних точках, воздушники в верхних, продувка
Электрообогрев	короткий уличный участок на воде	кабель, терморегулятор, питание с резервом, сигнал аварии

ВАЖНО

Уличный участок на воде без гликоля, без обогрева и без регламента слива в проект не выпускают. Чиллер уличного исполнения без зимнего комплекта, если работа зимой не предусмотрена паспортом и договором, при разморозке — не гарантийный случай.

10.2. Гликоль и испаритель

Каталог NCT прямо ограничивает воду: работа при температуре хладоносителя ниже $+6^{\circ}\text{C}$ возможна только на растворе этилен- или пропиленгликоля с концентрацией под режим. Если вода на выходе нужна ниже 5°C , риск заморозить испаритель очень велик — гликоль обязателен.

Концентрацию выбирают по двум условиям: температура замерзания раствора ниже самой низкой температуры, которую увидит контур, и минимальная температура на выходе испарителя допустима для машины (по данным производителей):

Таблица 39 Гликоль и испаритель

Концентрация, % масс.	20	30	40
Этиленгликоль: замерзание, $^{\circ}\text{C}$	-9	-16	-23
Пропиленгликоль: замерзание, $^{\circ}\text{C}$	-7	-13	-22

От чего защищаем. Мировая практика различает защиту от разрыва (burst protection) и от шуги (slush protection). Если в мороз контур стоит, допустима шуга: сначала вымерзает вода, получается каша, которая обычно трубы не рвёт. Если машина или драйкулер в мороз работают, шуга недопустима, и концентрацию берут по температуре замерзания с запасом. Проект пишет, от чего

защищает выбранная концентрация, — лишние проценты стоят мощности машины и энергии насосов круглый год. Поправки и расчёт — раздел 4.

Какой гликоль. Только ингибированный, разрешённый для теплообменников; автомобильный антифриз не применяют. Руководство по эксплуатации NCT запрещает смешивать хладоносители и добавлять присадки без согласования с производителем. С гликолем перенастраивают защиты машины от замерзания и по низкому давлению.

Обогрев испарителя — опция чиллеров NCT серий NARV, NASA, NCSA, NWSA и NWRA: не даёт разморозить испаритель при остановке оборудования. Для наружной машины на воде это минимум; надёжнее — гликоль.

10.3. Обогрев и слив наружных труб

Электрообогрев (heat tracing) — греющий кабель под изоляцией с терморегулятором. Руководство NCT прямо предусматривает дооснащение обогревателями во избежание разрыва трубопроводов. Кабель покрывает теплопотери стоящей трубы при расчётной наружной температуре, чтобы вода не опускалась ниже +5 °С:

$q = (5 - t_{\text{нар}}) / (R_{\text{из}} + R_{\text{нар}})$, с коэффициентом теплоотдачи 20 Вт/(м²·К) на ветру.

Пример. Уличный участок 30 м Ду150, каучук 32 мм, наружная –30 °С.

1. Теплопотери: $q = 22,3$ Вт/м. 2. Кабель с запасом на старение и неплотности — не меньше **25 Вт/м**. 3. На 30 м: $25 \times 30 = 0,75$ кВт установленной мощности, плюс арматура и опоры, у которых теплопотери выше, чем у прямой трубы. 4. Энергия: кабель включается, только когда вода стоит и холодно. Средняя мощность за холодный период — около 16 Вт/м, это 0,48 кВт. При 2000 холодных часах в году (подставьте свой климат) — **960 кВт·ч**.

Таблица 40 Обогрев и слив наружных труб

Ду / изоляция	–20 °С, Вт/м	–30 °С, Вт/м
100 / 32 мм	11,6	16,3
150 / 32 мм	16,0	22,3
200 / 40 мм	17,5	24,5

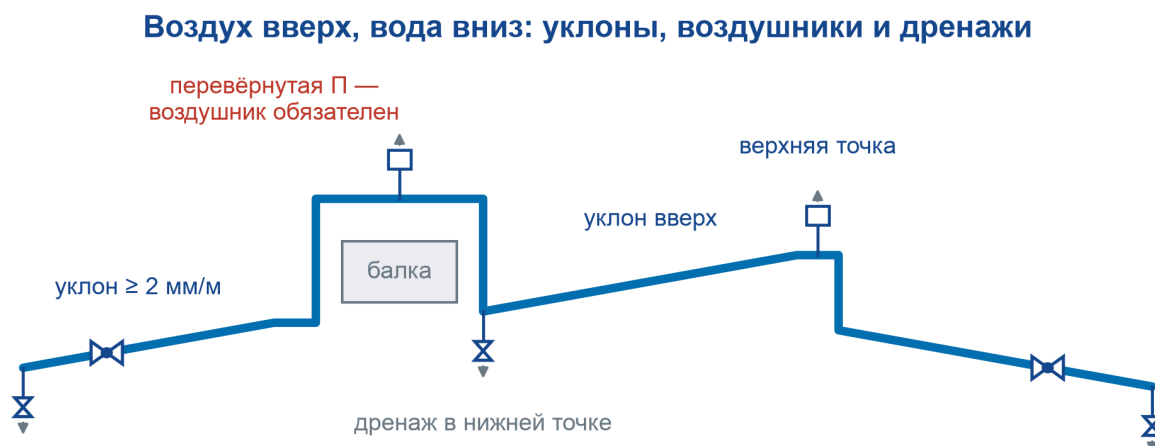
Рисунок 45 Уличный участок: кабель с алюминиевой лентой по нижней образующей, каучук 32 мм, металлический кожух, датчик сверху вдали от кабеля, щит обогрева с сигналом неисправности в диспетчерскую



Обогрев работает, только пока есть питание. Для ответственного объекта цепь обогрева — от сети с резервом, а сигнал неисправности — в диспетчерскую. Каучук на улице без кожуха разрушается на солнце.

Слив на зиму. Работает, если холод зимой не нужен и в эксплуатации есть регламент. Трассу рисуют с уклоном не меньше 2 мм/м: в каждой нижней точке отсекаемого участка — дренажный кран, в каждой верхней — воздухоотводчик. После слива участок продувают: вода в карманах отводов замерзает и в «пустой» трубе. Уклон делают к дренажам на магистрали, а не к машине — иначе при сливе грязь со всей трассы уходит в испаритель.

Рисунок 46 Уклоны, воздушники и дренажи: каждая верхняя точка — воздухоотводчик, каждая нижняя — дренажный кран



Случай

Из практики: больница, труба 250 мм, перевёрнутая П без воздушника — удары каждую минуту. Воздушник на такой петле рисуют на чертеже, а не добавляют на пуске.

10.4. Воздушные чиллеры на морозе

Воздушный конденсатор зимой даёт слишком низкое давление конденсации. Расширительный вентиль теряет перепад, скорость газа падает, масло хуже возвращается в компрессор. По данным производителей конденсаторов, для кондиционирования давление конденсации держат не ниже соответствующего 32 °C насыщения, а регулирование нужно уже при наружном воздухе ниже примерно 15,6 °C — в нашем климате это полгода.

Рабочий диапазон наружного воздуха по каталогу NCT (моноблоки NASA, чиллеры NCSA):

Таблица 41 Исполнения воздушных чиллеров по наружной температуре

Исполнение	Наружный воздух
Базовое	+10 ... +35 °C
Обогрев щита управления + регулятор скорости вентиляторов	−5 ... +35 °C
Регулятор скорости вентиляторов, обогрев щита, регулятор давления конденсации, регулятор давления в ресивере, ресивер	−30 ... +35 °C

Модульные чиллеры NARV в базовом исполнении работают при +5 ... +45 °C; плавное управление вентиляторами расширяет работу до −5 ... +15 °C. Щит управления без обогрева рассчитан на работу выше +10 °C: обогрев защищает от конденсата и держит температуру в щите. В предложениях NCT на воздушные и выносные чиллеры зимние опции перечислены отдельными строками: комплект зимнего пуска (для пуска ниже +5 °C), плавная регулировка конденсации, линейный ресивер, электронный расширительный вентиль.

Три способа держать давление конденсации и что каждый меняет в проекте:

Таблица 42 Способы работы воздушного чиллера на морозе

Способ	Что делает	Что в проекте
Ступени и скорость вентиляторов	убирает воздух через конденсатор	щит, кабели, регулятор; минимум 5 минут работы и простоя вентилятора; вентиляторы у коллекторов не циклируют
Затопление конденсатора (flooded head pressure control)	подпирает жидкость, уменьшает рабочую поверхность	клапан, перепуск горячего газа в ресивер, ресивер на всю заправку, заправка до двух раз больше
Регуляторы давления на нагнетании и в ресивере	держат давление механически	место на трассе у блока, байпасы для обслуживания

У машин NCT зимний комплект собирают из регулятора скорости вентиляторов, регулятора давления конденсации на газовой линии и регулятора давления в ресивере. У водяных чиллеров NWSA и NWRA регулятор давления конденсации на газовой линии — опция для стабильной работы при резких скачках температуры охлаждающей жидкости; минимальная температура жидкости на входе в конденсатор — по паспорту машины.

ВНИМАНИЕ

Режим «круглый год» в задании — это строки в спецификации. Зимний комплект, обогрев щита, ресивер нужного объёма и гликоль в испарителе. Если в спецификации их нет, машина зимой будет работать за пределами своего диапазона.

10.5. Ресивер выносного конденсатора зимой

У чиллеров NCSA и NCRA с выносным конденсатором зимой меняется не только щит, но и трасса.

- **Затопление требует ресивера на всю заправку.** Зимой часть конденсатора заполнена жидкостью, и заправка для зимней работы бывает примерно вдвое больше летней. Летом эта жидкость должна уйти в ресивер, иначе она останется в конденсаторе и поднимет давление. Добавку считает производитель конденсатора и регулятора по объёму трубок; проектировщик закладывает её в закупку хладагента и в объём ресивера (раздел 8.5).
- **Миграция в холодный конденсатор.** При конденсаторе выше блока хладагент на стоянке может перетекать в холодный конденсатор. Если конденсатор бывает холоднее ресивера — обратный клапан в сливной линии к ресиверу.
- **Ресивер в тёплом помещении** — обратный клапан перед ресивером на линии от конденсатора.
- **Переохлаждение зимой** меньше, поэтому подъём жидкости при конденсаторе ниже блока зимой особенно опасен (раздел 8.4).

На схеме зимнего регулирования рисуют: клапан затопления на выходе конденсатора, линию перепуска горячего газа от нагнетания в ресивер, обратный клапан, предохранительный клапан на ресивере со сбросом наружу и отметки уровня «лето» и «зима — вся заправка».

Чек-лист раздела 10: зима

- ☐ Для каждого наружного участка выбрано одно решение — гликоль, слив с продувкой или обогрев — и оно написано на схеме.

- Концентрация гликоля выбрана по температуре площадки (СП 131.13330) и по задаче: защита от разрыва или от шуги; тип гликоля — ингибированный.
- Для хладоносителя ниже +6 °С на выходе — только раствор гликоля; защиты машины перенастроены.
- Обогрев: мощность кабеля посчитана по теплотерям при расчётной температуре, питание с резервом, сигнал неисправности — в диспетчерскую.
- Слив: уклон не меньше 2 мм/м, дренажи во всех нижних точках, воздушники во всех верхних, регламент продувки.
- Для воздушного чиллера рабочий диапазон по каталогу перекрывает зиму площадки; зимние опции перечислены в спецификации.
- Для выносного конденсатора: способ регулирования давления конденсации выбран, ресивер вмещает всю заправку при затоплении, обратные и предохранительные клапаны на схеме.

Правило прохода: машина или труба на улице без выбранной защиты от замерзания и без зимнего комплекта при круглогодичной работе на выпуск не идёт.

11. Автоматика

Автоматика станции делает только то, что проектировщик нарисовал на трубе. Нет гильзы — нет температуры, нет прямого участка — нет честного сигнала протока, нет строки в техническом задании — нет алгоритма. Наладчик на пуске не добавит датчик, он может только обойтись без него.

11.1. Три уровня: щит чиллера, щит холодоцентра, диспетчеризация

Щит чиллера. У машины свой контроллер и своя цепь безопасности: давления, температура нагнетания, масло, ток. У чиллеров NCT это отдельный щит со своей автоматикой безопасности компрессоров. Проектировщик эти защиты не проектирует, но обязан дать им входы: реле протока и блок-контакт насоса.

Щит холодоцентра. Всё, что связывает машины между собой и с обвязкой: насосы и их резерв, байпас градири, вентиляторы, подпитка, ввод и вывод машин, ротация. В поставке NCT это мастер-щит станции: объединяет до трёх холодильных машин и периферию по RS-485 / Modbus RTU, ведёт приоритеты, ротацию и аварию станции.

Диспетчеризация. Система здания видит станцию, получает аварии, в заданных пределах меняет уставку или даёт разрешение на работу. Управлять насосами станции напрямую из системы здания нельзя: при потере связи станция должна работать сама.

Таблица 43 Три уровня: щит чиллера, щит холодоцентра, диспетчеризация

Функция	Щит чиллера	Щит холодоцентра	Диспетчеризация
Защиты компрессора	да	видит аварию	видит аварию
Реле протока, блок-контакт насоса	вход в цепь безопасности	формирует пуск насоса	—
Уставка температуры воды	исполняет	задаёт	меняет в пределах
Насосы, АВР, ротация	—	да	—
Байпас градири, вентиляторы	—	да	—
Ввод и вывод машин	—	да	—
Архив, аварии	свой журнал	архив станции	отчёты

Если станция объединяет машины NCT с машинами другого производителя, граница чужой машины — её сухие контакты и её протокол. Это проверяют до выпуска технического задания, а не на пусконаладке.

11.2. КИП на узлах обвязки

Прибор появляется на объекте, только если под него есть место на трубе: гильза, бобышка отбора давления, прямой участок. Всё это рисует технолог, поэтому перечень КИП — часть технологической схемы.

Таблица 44 КИП на узлах обвязки

Узел	Прибор	Код	Зачем
Испаритель, конденсатор	Термометры в гильзах на входе и выходе	TI	Нагрузка, спор о производительности

Узел	Прибор	Код	Зачем
Испаритель, конденсатор	Датчики температуры на входе и выходе	TE / TT	Регулирование, расчёт мощности
Испаритель, конденсатор	Манометры на входе и выходе	PI	Перепад: расход и засор
Испаритель, конденсатор	Реле протока или перепада	FS / PDS	Запрет пуска без воды, замерзание
Насосная группа	Манометры на всасе и нагнетании	PI	Рабочая точка насоса
Насосная группа	Реле перепада на фильтре	PDS	Сигнал «чистить фильтр»
Насосная группа	Защита от сухого хода	PSL / LSL	Уплотнение насоса
Вторичный контур	Датчик перепада у дальнего потребителя	PDT	Частотное регулирование
Магистраль	Расходомер	FT / FQ	Ввод машин по нагрузке, учёт холода
Градирня	Температура воды, уровень в поддоне	TT, LT, LSL, LSH	Вентиляторы, байпас, подпитка
Подпитка	Счётчик	FQ	Утечки, водный баланс
Наружный воздух	Температура и влажность	TT, MT	Свободное охлаждение, уставки

Правила места для технолога:

- гильза датчика — в зоне перемешанного потока, не ближе 5–10 диаметров от точки смешения;
- лопастному реле протока — прямые участки не меньше 5 Ду до и после, реле перепада подключают к отборам на входе и выходе аппарата;
- расходомер — там, где труба гарантированно заполнена, с прямыми участками по типу прибора; регулирующий клапан — после прибора.

ВНИМАНИЕ

Что не входит в чиллер NCT. Реле протока поставляется в комплекте с машиной отдельно и устанавливается монтажной организацией на прямом участке по рекомендациям завода. Защита насосов и насосных групп от сухого хода, по руководству NCT, выполняется силами проектной и монтажной организации и в состав чиллера не входит.

11.3. Буквенный код приборов

В российском проекте приборы обозначают по ГОСТ 21.208, рабочую документацию автоматизации выполняют по ГОСТ 21.408. Мировой аналог — ANSI/ISA-5.1 «Instrumentation Symbols and Identification». Логика кода одна:

1. **Первая буква — величина:** P — давление, T — температура, F — расход, L — уровень, Q — состав. 2. **Уточнение:** D — разность (PD — перепад), Q — суммирование (FQ — счётчик). 3. **Функции:** I — показание, R — регистрация, C — регулирование, S — реле, A — сигнализация, T — дистанционная передача, E — чувствительный элемент. 4. **Пределы:** H — верхний, L — нижний.

Пример: PDSL — реле низкого перепада давления; TIC — регулятор температуры с показанием, например на байпасе градирни.



Код прибора читается слева направо: что меряем, что уточняем, что прибор делает

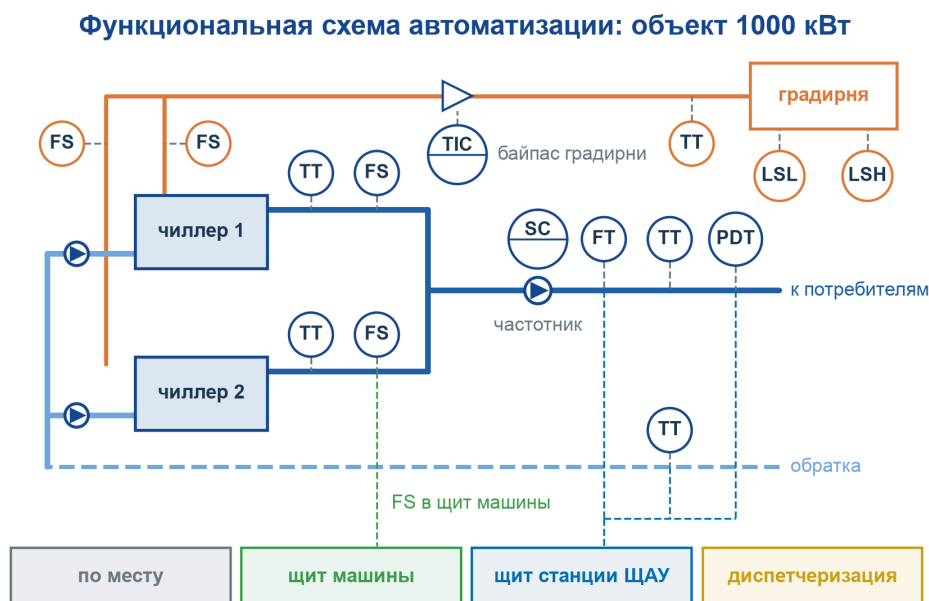
В частности ГОСТ и ISA расходятся: изображение исполнительных механизмов, отдельные буквы, способ показать место прибора. Для экспертизы проект оформляют по ГОСТ 21.208. Если производитель прислал P&ID (piping and instrumentation diagram, схема трубопроводов и КИП) по ISA, таблица соответствия кодов в записке снимает вопросы.

Позиция прибора — одна во всех документах: на схеме, в спецификации, в щите, в программе и на шильдике.

11.4. Функциональная схема и входы-выходы

Функциональная схема автоматизации (ФСА) — документ, на котором встречаются технолог и автоматчик. На ней упрощённая технологическая схема, приборы с кодом и позицией, исполнительные механизмы и связи к полям «по месту», «щит машины», «щит станции», «диспетчеризация». Блокировки — отдельными линиями или таблицей. На стадии П автоматизацию описывают в объёме, нужном экспертизе; на стадии Р — полный комплект по ГОСТ 21.408: ФСА, схемы, перечень точек, кабельный журнал.

Рисунок 48 Функциональная схема автоматизации объекта 1000 кВт: два чиллера, градирня, вторичный контур с частотным регулированием; ЩАУ — щит автоматического управления станцией



Расчёт входов и выходов контроллера станции.

Дано. Два чиллера по 500 кВт, 6 насосов (первичные 2, вторичные 2 с частотниками, градирни 2), 2 вентилятора градирни с частотниками, клапан байпаса, подпитка. Резерв — 20 %, но не меньше двух точек каждого типа.

1. AI: подача и обратка станции 2, вода градирни вход и выход 2, поддон 1, давление вторичного контура 2, перепад у потребителя 1, расход 1, давление у расширительного бака 1, уровень 1, наружная температура и влажность 2, положение клапана 1 — **14**. 2. AO: клапан байпаса 1, частотники насосов 2, частотники вентиляторов 2 — **5**. 3. DI: по 4 на машину (работа, авария, проток испарителя, проток конденсатора) — **8**; по 3 на насос — **18**; по 2 на вентилятор — **4**; фильтры 3, уровни 2, пожар 1 — **36**. 4. DO: разрешения машинам 2, насосы 6, вентиляторы 2, подпитка 1, общая авария 1 — **12**. 5. С резервом: AI 17, AO 7, DI 44, DO 15.

Итог. 67 рабочих точек, с резервом **83**, плюс порт Modbus RTU на машины и порт в диспетчеризацию. Температуры испарителей машина отдаёт по шине, их не дублируют аналоговыми входами.

11.5. Управление группой машин

Пуск и останов чиллера. Команда насосу → подтверждение работы → выдержка на подтверждение протока 5–15 с → реле протока замкнуто → разрешение машине. Останов — в обратном порядке, с выбегом насоса по инструкции машины. Для зимы руководство НСТ требует держать полный расход через испаритель долго после останова последнего компрессора (раздел 10).

АВР и ротация насосов. В техническом задании записывают:

- признак отказа: авария частотника или защиты двигателя, нет подтверждения работы, нет перепада на насосе через заданное время;

- действие: пуск резервного насоса без останова машины, сигнал в диспетчеризацию, ручной сброс аварии;
- ротацию по наработке — только при остановленной группе или в заданное время, без пуска двух насосов одновременно на общий коллектор;
- защиту от сухого хода по уровню или давлению на всасе.

АВР успевает, только если переключение и разгон резерва короче выдержки реле протока машины. На ответственных объектах закладывают схему N+1 и запас объёма воды на 30–120 с.

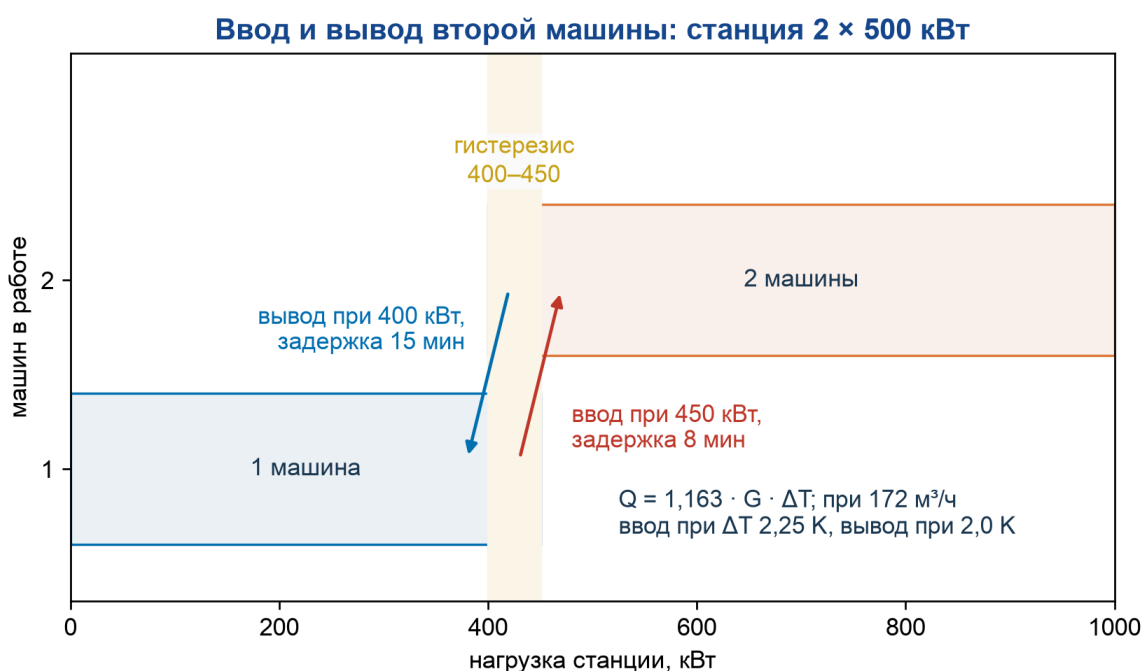
Ввод и вывод машин по нагрузке. Нагрузку считают по расходу и перепаду: $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta T$ (кВт; G — м³/ч; ΔT — К).

Пример. Две машины по 500 кВт, 172 м³/ч, 7/12 °С. Порог ввода — 90 % мощности работающих машин, вывода — 80 % мощности на одну машину меньше.

1. Ввод второй машины: $Q > 0,9 \cdot 500 = 450$ кВт дольше 8 минут, первая отработала не меньше 10 минут. 2. Вывод: $Q < 0,8 \cdot 500 = 400$ кВт дольше 15 минут. 3. В перепаде при 172 м³/ч: ввод при $\Delta T = 450 / (1,163 \cdot 172) = 2,25$ К, вывод — 2,0 К.

Между 400 и 450 кВт станция ничего не меняет — это зона гистерезиса. Для крупных машин держат не больше 4–6 пусков в час; таймер «пуск — пуск» 15 минут даёт максимум 4.

Рисунок 49 Ввод и вывод второй машины станции 2 × 500 кВт: зона гистерезиса 400–450 кВт



Зона между вводом и выводом — то, что не даёт станции дёргать вторую машину

Байпас градири. Уставку минимальной температуры воды на конденсатор берут из паспорта модели. По данным производителей водяных чиллеров, если вода может прийти холоднее 21,1 °С, клапан держит 26,7 °С и привод открывается за 60 с или быстрее; у другого производителя — вода выше 12,8 °С или 7,2–12,8 °С при росте не медленнее 0,56 К в минуту. Чужие пороги на машину NCT не переносят.

11.6. Интерфейсы обмена

Сухие контакты — разрешение на пуск, работа, авария. Работают без протоколов, карт регистров и адресов. **Шина** — Modbus RTU по RS-485, Modbus TCP, BACnet (ANSI/ASHRAE 135), OPC UA: по ней идут десятки параметров. Управление по Modbus RS-485 есть в опциях чиллеров NCT.

Правило разделения: всё, от чего зависит безопасность, — проводом. Реле протока заводят в цепь безопасности машины напрямую, не через контроллер станции и не через шину; так же — блок-контакт насоса, разрешение на пуск и аварийный останов. По шине — температуры, давления, наработка, коды аварий, уставка. Станция и здание обмениваются по Modbus TCP или BACnet, без прямого управления насосами.

ВНИМАНИЕ

Карта регистров — до поставки. Без карты регистров каждой машины интеграция превращается в подбор адресов на объекте. В спецификации указывают, кто выполняет интеграцию и кто предоставляет шлюзы.

11.7. Что писать в техническом задании на автоматику

1. Граница системы — таблица раздела 11.1. 2. Перечень точек с позициями по ФСА: тип сигнала, диапазон, участие в блокировке, архив. 3. Таблица уставок из паспортов машин: минимальная температура воды на конденсатор, антифриз, пороги реле протока, пороги ввода и вывода. 4. Последовательности пуска и останова с задержками. 5. Блокировки и защиты — с указанием, какие выполнены проводом. 6. Положение каждого клапана при потере питания. 7. Интерфейс: протокол, карта регистров, кто мастер, какие команды принимаются. 8. Место под щит: зона обслуживания 1,0–1,2 м, тепловыделения частотников 2–4 % проходящей мощности, отдельные трассы силовых и слаботочных кабелей, резерв 20 % в лотках, контроллере и клеммах. 9. Программа функциональных испытаний.

Для закупок по 44-ФЗ и 223-ФЗ товарный знак контроллера или датчика сопровождают словами «или эквивалент» и параметрами эквивалентности: диапазон, точность, выход, протокол. Частые пропуски в ТЗ на практике: нет защиты насосных групп от сухого хода, нет обвязки под расходомеры, не указано, что устройства плавного пуска насосов стоят вне щита и кабели не входят в поставку.

Чек-лист раздела 11: автоматика

- ☐ Таблица «щит чиллера / щит холодоцентра / диспетчеризация» записана в ТЗ.
- ☐ ФСА выпущена по ГОСТ 21.208, у каждого прибора позиция и связь.
- ☐ Под каждый прибор на технологической схеме есть гильза или отбор; реле протока — на прямом участке не меньше 5 Ду до и после.
- ☐ Входы и выходы посчитаны по ФСА с резервом 20 %, не меньше двух на тип.
- ☐ Пороги ввода и вывода машин заданы с гистерезисом и задержками, пусков — не больше 4–6 в час.
- ☐ АВР описан: признак отказа, время переключения короче выдержки реле протока; защита насосов от сухого хода заложена.
- ☐ Реле протока и блок-контакт насоса — проводом в цепь безопасности машины; карта регистров запрошена.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — раздел автоматизации не выпускаем.

12. Российские нормы

Норма не проектирует за вас: она говорит, где проект обязан быть доказан. Работоспособность доказывают паспорт машины, расчёт и проверка производителя. В холодильном центре одновременно действуют несколько групп документов, и каждый участок обвязки нужно отнести к своей.

ВНИМАНИЕ

Статус норм. Раздел называет документы и их смысл, номера пунктов не приводит намеренно: редакции сводов правил меняются. ФНП по оборудованию под избыточным давлением (приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536) действуют до 01.01.2027. Перед ссылкой в записке сверяйте действующую редакцию в справочной правовой системе.

12.1. Карта норм: документ — что из него берём

Таблица 45 Карта норм: документ — что из него берём

Документ	Что из него берём
СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»	Требования к системам холодоснабжения, трубопроводам, арматуре, размещению оборудования и доступу для обслуживания
СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы зданий»	Давление и порядок гидростатического испытания — в общие указания проекта
СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»	Толщина изоляции холодных труб по условию невыпадения конденсата
СП 131.13330 «Строительная климатология»	Расчётные температуры для подбора конденсатора, градирни, драйкулера и зимнего режима
ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012 (ISO 5149:1993)	Безопасность холодильных систем и помещений, где они стоят; количество хладагента
Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87	Состав разделов проектной документации стадии П
ГОСТ Р 21.101	Основные требования к проектной и рабочей документации
ГОСТ 21.205, ГОСТ 21.206	Условные обозначения элементов трубопроводных систем и трубопроводов
ГОСТ 21.208, ГОСТ 21.408	Обозначения приборов, рабочая документация автоматизации (раздел 11)
ГОСТ 21.602	Правила выполнения рабочей документации ОВиК
ГОСТ 21.110	Спецификация оборудования, изделий и материалов

Дерево выбора простое. Вода и гликоль — СП 60, 73, 61, 131. Хладагент — ГОСТ EN 378-2014 и ГОСТ 12.2.233-2012. Пар выше 0,07 МПа и вода выше 115 °С — ФНП № 536, если такие участки есть в проекте.

Что из каждого свода важно для чиллера. СП 60 — рамка; конкретных пунктов «про чиллер» в нём немного, и экспертиза чаще спрашивает «чем обосновано решение». Ответ даёт расчёт и паспорт машины в приложении к записке. СП 131 даёт наружный воздух, а не воздух на входе в конденсатор: поправку на место установки пишет проектировщик (раздел 9). По СП 73 водяные системы холодоснабжения испытывают давлением 1,5 рабочего, но не менее 0,2 МПа в нижней

точке, с выдержкой 5 минут и падением не более 0,02 МПа. В указаниях обязательна фраза об отсечении машины, если давление испытания выше допустимого для её водяных камер.

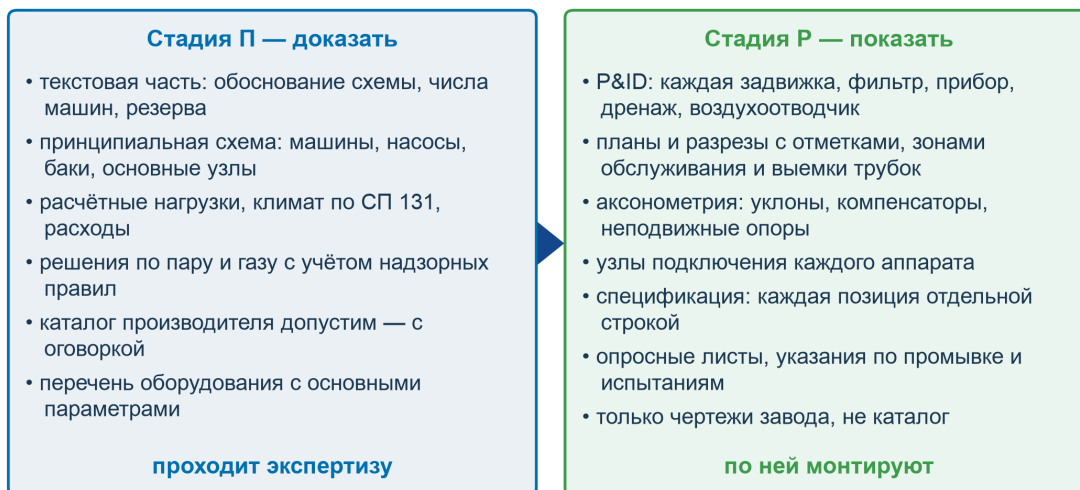
12.2. Состав разделов на стадиях П и Р

На стадии П обвязка холодильного центра живёт в разделе «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения» (в обиходе ИОС) и расходится по подразделам: отопление, вентиляция и кондиционирование — холодоснабжение, насосы, баки, контур градирни, вентиляция зала; технологические решения — для промышленных объектов; электро-снабжение, водоснабжение и водоотведение — питание машин, подпитка градирни, дренажи. Шифры подразделов сверяют с действующей редакцией положения и с заданием.

Стадия П обосновывает, стадия Р позволяет построить. Проектная документация (design documentation) отвечает экспертизе на вопрос «почему так», рабочая (construction documents) — монтажнику на вопрос «как именно».

Рисунок 50 Стадия П доказывает, стадия Р показывает: в Р не остаётся ни одного решения «по месту»

Стадия П и стадия Р по обвязке: что в каждой



Проверка готовности Р: в альбоме не осталось ни одного решения «по месту».

Стадия П доказывает, стадия Р показывает: в Р не должно остаться ни одного решения «по месту»

Таблица 46 Состав альбома стадии Р по обвязке

Лист	Что на нём обязательно
Общие данные	Ведомость, ссылочные нормы с датой редакции, указания по монтажу, промывке, испытаниям, изоляции; границы проектирования
Принципиальная схема (P&ID)	Все машины, насосы, баки, арматура, фильтры, приборы, воздухоотводчики, дренажи, диаметры, границы поставки
План зала	Привязки, зоны обслуживания и выемки труб, проходы, трассы с отметками
Разрезы и аксонометрия (isometric)	Отметки, уклоны, компенсаторы, неподвижные опоры
Узлы	Подключение каждого аппарата и насосной группы

Лист	Что на нём обязательно
Спецификация (bill of materials)	Каждая позиция схемы отдельной строкой: тип, DN, PN, материал, стандарт фланцев
Опросные листы (data sheet)	Насосы, баки, клапаны, теплообменники — с рабочими точками
Расчёты	Гидравлика, объём и расширение, изоляция, фреоновая трасса

Альбом читают сверху вниз, а проверяют поперёк: одна позиция совпадает на схеме, плане, аксонометрии и в спецификации. На стадии Р — только чертежи завода, ни одного размера из каталога. Позиция «в составе оборудования» без отдельной строки спецификации не закупается.

12.3. Путь проекта и типичные замечания экспертизы

Проект проходит пять проверок: внутреннюю (нормоконтроль и главный инженер проекта), производителя машины, экспертизу — государственную или негосударственную, заказчика с эксплуатацией и ресурсоснабжающие организации. Замечание, пойманное на своей проверке, исправляется на бумаге; на экспертизе — новым кругом; на монтаже — переделкой железа.

Рисунок 51 Путь проекта обвязки через согласования: проверка производителя экспертизой не заменяется



Замечание, пойманное на своей проверке, исправляется на бумаге; на экспертизе — новым кругом; на монтаже — переделкой железа

Типичные замечания экспертизы — по практике отрасли, без статистики:

- нет обоснования схемы и числа машин с резервом;
- расчётные параметры наружного воздуха не по СП 131 или не указаны;
- ссылки на отменённые редакции норм;
- расходы и напоры насосов не подтверждены гидравлическим расчётом;
- нет расчёта изоляции холодных труб по невыпадению конденсата;
- не указаны давление и порядок испытаний.

Заказчик и эксплуатация добавляют свои: нет места вынуть трубки или снять насос, арматура на высоте без площадки, нет байпаса для промывки мимо машины, нет приборов для проверки расхода, не показано, чей щит, кабель и ответные фланцы.

ВНИМАНИЕ

Заключение экспертизы — не проверка работоспособности. Экспертиза проверяет соответствие требованиям и обоснованность. Проект с положительным заключением может не иметь реле протока с прямыми участками, фильтра на входе и места для выемки трубок — и провалиться на пусконаладке.

12.4. Хладагент и промышленная безопасность

Руководство по эксплуатации чиллеров NCT с выносным конденсатором требует монтировать фреоновый контур «в соответствии с проектной документацией, настоящим руководством, СНиП 3.05.05-84 и ГОСТ EN 378-2014». Первым в этом ряду стоит проект: если трасса нарисована одной линией без диаметров и отметок, спор на рекламации пойдёт по руководству завода.

Что закладывают в проект по ГОСТ EN 378-2014 и ГОСТ 12.2.233-2012:

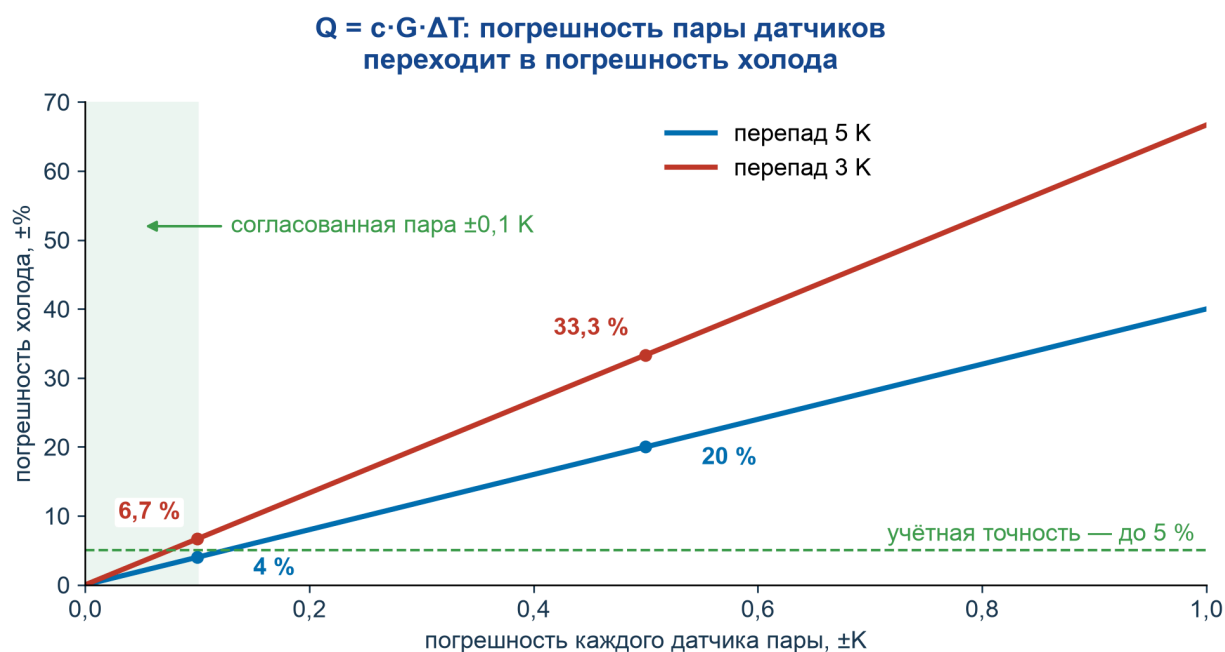
- количество хладагента в системе — в записке, с добавкой на трассу; от него зависят требования к помещению (раздел 9.2);
- сбросные линии предохранительных клапанов — наружу, в безопасное место;
- контроль утечки и вентиляция помещения по расчёту.

ГОСТ 12.2.233-2012 введён с 01.01.2014. Из EN 378 (части 1–4: общие требования, проектирование и изготовление, место установки, эксплуатация) для проекта важна часть 3 — место установки и машинные отделения. ASHRAE 15 «Safety Standard for Refrigeration Systems» (редакция 2022) — справочный документ мировой практики; у нас считают по ГОСТ.

12.5. Точность учёта холода

Холод измеряют по воде: $Q = c \cdot G \cdot \Delta T$. Ошибка перепада переходит в ошибку холода один к одному в процентах. При перепаде 5 К пара датчиков с погрешностью $\pm 0,1$ К каждый даёт до $\pm 0,2$ К, то есть ± 4 % холода. Пара $\pm 0,5$ К — до ± 1 К, то есть ± 20 %. При перепаде 3 К те же пары дают 6,7 и 33,3 %.

Рисунок 52 Погрешность пары датчиков переходит в погрешность холода; на малом перепаде дешёвый датчик съедает всю точность учёта



На малом перепаде дешёвый датчик съедает всю точность учёта холода

Ориентир мировой практики — ASHRAE Guideline 22 «Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency» (редакция 2025): станция, чья эффективность должна быть доказуемой, получает приборы расхода, температуры и электрической мощности оговорённой точности. Для станций от мегаватта и для договоров с гарантией эффективности закладывают согласованную пару датчиков $\pm 0,1$ K и электромагнитный расходомер. На малой станции хватает приборов для пуска и диагностики.

12.6. Стандарты испытаний холодильных машин

Российский проект не требует сертификации машины по зарубежной программе, но методики испытаний полезно знать, когда заказчик просит подтвердить характеристики.

Таблица 47 Стандарты испытаний холодильных машин

Стандарт	О чём
EN 14511, части 2 и 3	Условия испытаний и методы измерения производительности и эффективности чиллеров
EN 14825	Сезонная эффективность
EN 12102	Шум
ANSI/AHRI 550/590 (2023)	Испытания на полной нагрузке и на 75, 50, 25 %; интегральный показатель IPLV
СТИ STD-201, АТС-105	Сертификация и приёмочные испытания градилен (подробно — ЭХ-APM002-RU «Градирни NCT»)

Допуски на условия испытаний по AHRI 550/590: расход жидкости ± 5 %; температура воды на выходе из испарителя и на входе в конденсатор $\pm 0,3$ K; температура воздуха $\pm 0,6$ K; напряжение

$\pm 10\%$, частота $\pm 1\%$ от паспортных. Холод на стенде считают по воде, поэтому всё решает точность расходомера и датчиков температуры.

Приёмочные испытания в присутствии заказчика (witness test) проводят до отгрузки, часто на условиях, воспроизводящих объект. Если они нужны, их условия, точки и методику записывают в договор, а не обсуждают после поставки.

Чек-лист раздела 12: российские нормы

- ☐ Каждая норма в общих данных — с датой редакции, сверенной перед выпуском.
- ☐ Расчётный климат взят по СП 131 и дан с поправкой на место установки.
- ☐ В указаниях — давление испытания 1,5 рабочего, не менее 0,2 МПа, и отсечение машины.
- ☐ Изоляция холодных труб посчитана по СП 61 на невыпадение конденсата.
- ☐ Количество хладагента с трассой — в записке, сбросы предохранительных клапанов — наружу.
- ☐ Альбом Р проверен поперёк, позиций «в составе» без отдельной строки нет.
- ☐ Требования к учёту холода и к приёмочным испытаниям, если они нужны, записаны в договор.

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

13. Самопроверка

Раздел собирает ошибки, которые чаще всего находят в проектах с чиллерами, вопросы, которые проектировщики задают заводу, и итоговый чек-лист. Пройдите его перед выпуском стадии и перед отправкой задания заводу.

13.1. Типичные ошибки проекта

Таблица 48 Типичные ошибки проекта

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
1	Нагрузка дана одной суммой, без графика и минимума	Машина ночью тактует, буферный бак появляется после пуска наладки	Пик, минимум и набросы по каждому потребителю в задании (раздел 3)
2	Две машины на одном общем насосе без отсечных клапанов	Тёплая вода идёт через выключенную машину, подача 9,5 °С вместо 7	Насос на каждую машину или отсечной клапан с приводом (раздел 5)
3	Обратный клапан в перемычке первично-вторичной схемы	Первичные и вторичные насосы работают последовательно, перерасход через машины	Перемычка без клапанов на 110–115 % расхода крупнейшей машины, длиной 5–10 Ду
4	Переменный первичный расход без байпаса минимума	Остановы машин по протоку при закрытии клапанов потребителей	Байпас на минимальный расход крупнейшей машины, клапан 30–60 с, расходомер
5	Диаметр «чтобы влез расход»: Ду150 на 172 м³/ч	533 Па/м, 2,7 м/с, лишние 13 м напора, шум	Подбор в коридоре 100–300 Па/м с проверкой скорости: Ду200 (раздел 4)
6	Удлинение трубы гасится гибкой вставкой у патрубков	Нагрузка на патрубок, трещины вставки, течь по фланцу машины	Неподвижные опоры и компенсация на магистрали; вставка — только от вибрации
7	Напор насоса «на глаз» или по высоте здания в закрытом контуре	Насос не обеспечивает расход, авария по протоку на пуске	Расчёт самого нагруженного кольца; высота входит в напор только в открытом контуре
8	Фильтр в расчёте кольца взят чистым	Через месяц расход ниже расчётного, машина уходит в аварию	Фильтр — на пороге чистки, уставка дифреле
9	Насос градирни выше уровня воды, кавитационный запас проверен в лучшем режиме	Кавитация летом, подхват воздуха	Насос ниже минимального уровня, запас — в худшем режиме
10	Объём контура посчитан по всей сети при двухходовых клапанах	Эффективный объём в разы меньше, машина тактует	Считать только воду, которая возвращается в машину на малой нагрузке
11	Расширительный бак без преднастройки, один для воды и гликоля	Скачки давления, сброс через предохранительный клапан	Расчёт с давлениями P_o , P_a , P_e ; для гликоля — своя плотность
12	Уличный участок на воде без обогрева и регламента слива	Разморозка трубы, насоса, испарителя	Гликоль, слив с продувкой или обогрев с резервом питания (раздел 10)
13	Промежуточный теплообменник «на всякий случай»	+2–4 К к температуре конденсации и второй насос	Развязка только при плохой воде, общезаводской градирне или гликоле (раздел 6)

№	Ошибка	Чем грозит	Как правильно
14	Фреоновая трасса 30–40 м диаметрами патрубков	Потери 1,5–4 К на нагнетании, рост потребления	До 15 м — по патрубкам, дальше — расчёт и согласование завода (раздел 8)
15	Стояк нагнетания подобран только на полную нагрузку	Масло остаётся в стояке на минимальной ступени	Проверка скорости на минимальной ступени, при провале — решение завода
16	Воздушный чиллер в прямке или за ограждением выше машины	Рециркуляция горячего воздуха, авария по высокому давлению в жару	Отступы по паспорту, ограждение не выше машины или заслонки (раздел 9)
17	Машинный зал без зоны выемки трубок	Трубки чистят только химией, отложения съедают мощность	Зона на длину трубок по чертежу завода (раздел 9)
18	Монтажный проём по габариту из каталога	Машина не проходит проём или поворот в день доставки	Транспортный чертёж завода, проверка всего пути заноса
19	Реле протока заведено только в контроллер станции или по шине	Зависание контроллера снимает защиту от замерзания	Реле протока — проводом в цепь безопасности машины (раздел 11)
20	Позиции «в составе оборудования» без строки спецификации	Клапан, щит или ответные фланцы не закуплены	Каждый элемент схемы — отдельной строкой

К этим ошибкам проекта добавляются ошибки подбора, которые в эксплуатации выглядят как «чиллер выдаёт аварию». Машина, подобранная без запаса на жару, в июльский полдень штатно уходит в защиту по высокому давлению. Машина намного мощнее реальной нагрузки при маленьком объёме контура часто пускается, а частые пуски изнашивают компрессор быстрее всего. Гликоль недостаточной концентрации ведёт к обмерзанию испарителя: замерзающая жидкость способна разорвать пластинчатый теплообменник.

13.2. Частые вопросы проектировщиков

«Сколько места займёт машинный зал?» Длина — три длины машины, ширина — две ширины машины плюс 4 м, высота — машина плюс 1,5 м под трассы. Для двух машин длиной 3,5 м это около 10,5 × 6,8 м. Окончательно — по зонам из чертежа завода. → раздел 9

«Резиновых виброопор хватит или нужны пружины?» Резина с осадкой 3 мм имеет собственную частоту около 9 Гц и пропускает 16 % вибрации насоса на 1450 об/мин. Пружина с осадкой 25 мм — 3,2 Гц и меньше 2 %. Над жилыми и офисными помещениями — пружины и упругие подвесы трубы. → раздел 9

«Почему магистраль Ду200, если по скорости проходит и Ду150?» При 172 м³/ч Ду150 даёт 2,7 м/с и 533 Па/м против коридора 100–300 Па/м. Ду200 — 1,42 м/с и 101 Па/м. Разница — лишние метры напора насоса каждый час работы. → раздел 4

«Свободный напор 25–30 м — с учётом подъёма трассы на 8 м. Это правильно?» В закрытом контуре нет: столб воды в подаче уравновешен столбом в обратке. В напор входят трубы, местные сопротивления, аппараты и арматура. Для типового вторичного контура 1000 кВт это около 16 м. → раздел 4

«Нужен ли бак-аккумулятор и какого объёма?» Его считают от наименьшей ступени и эффективного объёма контура. Для ступени 125 кВт при гистерезисе 2 К нужно 2,24 м³ воды в контуре;

если в первичном контуре 1 м^3 , бак — около $1,2 \text{ м}^3$, с проверкой по паспорту машины. У машины с плавным регулированием до малой нагрузки бак может не понадобиться. → раздел 4

«В сети 13 м^3 воды. Зачем ещё бак?» Ночью двухходовые клапаны закрыты, первичный насос гонит воду через перемычку, и машина видит только воду первичного контура — около 1 м^3 . Это меньше минимального объёма, который требуют производители даже для комфортного кондиционирования. Бак ставят туда, где вода действительно ходит: на обратку первичного контура. → раздел 5

«Экспертиза спрашивает, по какому пункту СП 60 принят буферный бак». Свод правил минимальный объём контура не задаёт — его задаёт производитель машины. Ответ: паспорт или письмо завода с цифрой плюс расчёт в записке. → раздел 12

«Сколько фреона на метр трассы?» Машина и конденсатор — по паспорту. Трассу считают сами: для R410A около $0,50 \text{ кг}$ на метр жидкостной линии 28×1 и $0,12 \text{ кг}$ на метр нагнетания $42 \times 1,2$; на трассе 25 м — $15,5 \text{ кг}$ на контур. Строка «добавка хладагента на трассу» — в спецификации. → раздел 8

«Почему завод не даёт диаметры трассы, это же ваша машина?» Диаметр зависит от длины, отметок и минимальной ступени — это данные проекта. До 15 м — диаметры патрубков по руководству NCT; длиннее — расчёт вместе с заводом и письменное подтверждение. → раздел 8

«Можно завести реле протока в контроллер станции, а машине передать по Modbus?» Нельзя. Реле протока и блок-контакт насоса — защиты машины, их заводят проводом в её цепь безопасности. По шине идут температуры, давления, наработка, аварии и уставки. → раздел 11

«Почему вторая машина включается и тут же выключается?» Ввод и вывод настроены по одному порогу без задержек. Для двух машин по 500 кВт : ввод при 450 кВт дольше 8 минут, вывод при 400 кВт дольше 15 минут, минимальная работа 10 минут. → раздел 11

«Насосы градирни поставим на кровле рядом с ней — трубы короче». В расчётной точке может пройти, в худшем режиме — нет: тёплая вода, грязная сетка, один насос, и запас на всасе падает ниже требуемого. Насос выше воды сам не заполняется и подхватывает воздух. Ставьте ниже минимального уровня. → раздел 6

13.3. Чек-лист проверки проекта

Чек-лист собран из чек-листов разделов 3–12 и разбит на группы. Проходите его целиком: пропущенная группа означает непроверенный проект. Если пункт не относится к вашей схеме, например выносного конденсатора нет, отметьте его словом «не применяется», а не оставляйте пустым.

Исходные данные

- ☐ Нагрузка задана пиком, минимумом и графиком по каждому потребителю.
- ☐ Расчётный климат по СП 131 записан в задание с поправкой на место установки.
- ☐ Каждая цифра опросного листа имеет документ-источник: ТУ, задание, паспорт, замер.
- ☐ На стадию Р запрошен чертёж конкретной машины: патрубки, зоны обслуживания, масса с водой, транспортный габарит.

Схема и гидравлика

- ☐ Схема выбрана с обоснованием; перемычка — на $110\text{--}115\%$ расхода крупнейшей машины, без клапанов.

- ☐ Минимальный расход через испаритель обеспечен при любой нагрузке.
- ☐ Магистраль подобрана в коридоре 100–300 Па/м и проверены по скорости.
- ☐ Напор насосов — по самому нагруженному кольцу, фильтр — на пороге чистки, рабочая точка в зоне высокого КПД.
- ☐ Эффективный объём контура сравнён с паспортом машины, буферный бак — на обратной первичного контура.
- ☐ У расширительного бака на схеме — давления P_o , P_a , P_e и уставка предохранительного клапана; для гликоля — свой расчёт.
- ☐ Подпитка — с водомером и защитой от обратного потока; защита насосов от сухого хода — в проекте.

Узел машины

- ☐ У каждого аппарата — затворы, фильтр на входе, гибкие вставки, термометры и манометры на входе и выходе, дренаж, воздухоотводчик, балансирующий клапан.
- ☐ Реле протока на прямом участке не меньше 5 Ду до и после, заблокировано с пуском машины.
- ☐ Патрубки машины не несут вес и усилия трубы: неподвижные опоры и компенсация на магистрали.

Отвод тепла, зима, выносной конденсатор

- ☐ Температура воды на конденсатор не уходит ниже паспортного минимума: байпас градирни и регулирование вентиляторов.
- ☐ Уличные участки защищены от замерзания: гликоль нужной концентрации, слив или обогрев; поправки на гликоль в мощности, расходе и напоре.
- ☐ Фреоновая трасса длиннее 15 м посчитана и согласована с заводом письменно; маслоподъёмные петли и уклон 15 мм на метр — на схеме.

Размещение

- ☐ Отступы воздушного чиллера и ограждение — по паспорту, рециркуляции нет, рама выше снегового покрова.
- ☐ Зоны выемки трубок и обслуживания щитов — на плане по чертежу завода, над щитами нет воды, путь заноса проверен.
- ☐ Виброизоляция подобрана расчётом, над чувствительными помещениями — пружины и упругие подвесы трубы.
- ☐ Вентиляция зала и концентрация хладагента посчитаны; количество хладагента с трассой — в записке, сбросы предохранительных клапанов — наружу.

Автоматика

- ☐ Защиты — проводом, по шине — только данные; пороги ввода и вывода машин — с гистерезисом, АВР насосов описан.

Документация

- ☐ Нормы указаны с датой редакции, давление испытания — в указаниях, граница поставки — на схеме.

Правило прохода: хоть один пункт пуст — проект не выпускается. Расходится с паспортом — решает паспорт; паспорт молчит — запрос заводу в записке.

14. Наши объекты

Чиллеры NCT работают в промышленности, торговле, на социальных и научных объектах — от охлаждения печатного станка до реакторов химического производства. В таблице — выборка из референс-листа чиллеров NCT (январь 2026); абсорбционные машины в неё не входят, они собраны в руководстве ЭХ-АРМ001-RU.

Всего в референс-листе чиллеров 42 предприятия в России и Казахстане. По 16 из них там же описана задача машины — эти строки идут первыми.

Таблица 49 Наши объекты

Отрасль	Предприятие	Город, регион	Что поставлено
Нефтегаз, исследования	ЛПК «Газпромнефть – Промышленные инновации»	Санкт-Петербург	Чиллеры для охлаждения испытательного стенда
Химия	«Эрготек», производство клеев и парафиновых эмульсий	Пермь	Чиллер NASA для охлаждения термомасла и ванны с водой
Металлургия	«Северсталь Метиз»	Череповец, Вологодская обл.	Чиллер NASA для охлаждения сварочного портала
Полиграфия	«Ликофлекс-Окил Сато», производство этикетки	Санкт-Петербург	Чиллер NASA для охлаждения печатного станка
Автокомпоненты	«Ханил Рус»	Всеволожск, Ленинградская обл.	Чиллер NASA для охлаждения термогибочного станка
Санаторий	Санаторий-профилакторий «Факел»	с. Дивноморское, Краснодарский край	Чиллер NCSA с функцией теплового насоса и чиллер NASA для кондиционирования столовой
Кондитерское производство	«Любимый край»	пос. Горелово, Ленинградская обл.	Чиллер для охлаждения технологической линии
Масложировое производство	«Жировой комбинат»	Екатеринбург	Чиллер NASA: охлаждение подсолнечного масла в теплообменниках линии
Строительные материалы	Петропавловский завод строительных материалов	Петропавловск, Казахстан	Чиллер для охлаждения производства пластика
Химия	«Экостар-Наутех», производство брома и лития	Усть-Кут, Иркутская обл.	Чиллеры NCSA для охлаждения реакторов в цикле производства кислот
Изоляционные материалы	КСИ «Стеклонит»	Самарская обл.	Чиллер для охлаждения экструзионной линии
Термостойкие изделия	Барнаульский завод «АТИ»	Барнаул, Алтайский край	Чиллер NASA: охлаждение печи водой 10 °C
Масложировое производство	Маслоэкстракционный завод	Эртиль, Воронежская обл.	Чиллер для выморозки и охлаждения масла
Пищевое производство	«Фаворит», производство кофе и цикория	п. Мурино, Ленинградская обл.	Моноблочный чиллер для охлаждения производственных процессов
Торговля	ТЦ «Акватория»	Шлиссельбург, Ленинградская обл.	Чиллер с выносным воздушным конденсатором для кондиционирования ТЦ

Отрасль	Предприятие	Город, регион	Что поставлено
Торговля	ТЦ «Искра»	Пермь	Чиллер NASA для вентиляции и кондиционирования помещений
Кондитерское производство	Кондитерская фабрика КДВ	Московская обл.	Чиллеры NARA (320 кВт, охлаждение до -2 °C) и NCSA
Нефтегаз	Буровая платформа «Сахалин-1»	Сахалинская обл.	Чиллеры NCT
Металлургия	«Уральская сталь», лист и литьё	Оренбургская обл.	Чиллеры NCT
Нефтепереработка	НПЗ «Ильский»	Краснодарский край	Чиллеры NCT
Атомная отрасль	Центральный проектно-технологический институт «Росатом»	Московская обл.	Чиллеры NCT
Пищевое производство	«Мираторг Петфуд», корма для кошек и собак	Курск	Чиллеры NCT
Деревообработка	«Кроношпан», производство МДФ	Калуга	Чиллеры NCT
Электроника	НИИ полупроводниковых приборов	Томск	Чиллеры NCT
Электротехника	«Северная заря», слаботочные электромагнитные реле	Санкт-Петербург	Чиллеры NCT
Кабельное производство	«СКТ Групп»	Псков	Чиллеры NCT
Авиаремонт	Авиационный ремонтный завод АРЗ 218	Краснодарский край	Чиллеры NCT
Пивоварение	Пивоварня «Островица»	Челябинская обл.	Чиллеры NCT
Литейное производство	Тверской литейный завод	Тверь	Чиллеры NCT
Химия	Рошальский завод пластификаторов	Московская обл.	Чиллеры NCT

Полный и актуальный список объектов, отзывы заказчиков и фото установок — на сайте nc-t.ru. Если нужен пример машины в вашей отрасли или на похожем режиме, укажите это в опросном листе (раздел 3): подберём объект и расскажем, как решена обвязка.

Следующий шаг

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

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

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

Словарь терминов

Термин	Что значит
Чиллер	Холодильная машина, которая охлаждает воду или гликоль для системы холодоснабжения
Чиллер без конденсатора (condenserless)	Компрессорно-испарительный блок в помещении; конденсатор воздушный, выносной, между ними фреоновая трасса
Тепло конденсации	Тепло, которое отводит конденсатор: холод плюс мощность компрессора; на него подбирают градирню или драйкулер
Холодильный коэффициент (COP, EER)	Холодопроизводительность, делённая на потребляемую электрическую мощность, кВт/кВт
IPLV	Средневзвешенный холодильный коэффициент при 100, 75, 50 и 25 % нагрузки по AHRI 550/590
N+1	Резерв, при котором после отказа одной машины оставшиеся покрывают расчётную нагрузку
Первичный и вторичный контур	Схема, где насосы машин и насосы потребителей разделены перемычкой и не мешают друг другу
Перемычка (decoupler), гидрострелка	Участок между первичным и вторичным контуром, по которому уходит разница расходов; гидрострелка ещё отделяет воздух и шлам
Переменный первичный расход (VPF)	Схема без вторичных насосов, где расход через испарители меняется вместе с нагрузкой
Синдром низкого перепада (low delta T)	Вода возвращается холоднее расчётной, машины недогружены, насосы качают лишнее
Байпас минимального расхода	Линия с регулирующим клапаном, которая держит расход через испаритель не ниже паспортного минимума
Эффективный объём	Вода, которая на малой нагрузке возвращается к машине за минуты; от него зависит число пусков компрессора
Свободное охлаждение (free cooling)	Охлаждение воды наружным воздухом через драйкулер или градирню без работы компрессора
Адиабатическое предохлаждение	Увлажнение воздуха перед конденсатором, чтобы его температура приблизилась к мокрому термометру
Эквивалентная длина	Фактическая длина фреоновой трассы плюс сопротивление фитингов, пересчитанное в метры трубы
Двойной стояк (double riser)	Два параллельных стояка нагнетания: малый для минимальной ступени, большой с сифоном
Переохлаждение (subcooling)	Насколько жидкий хладагент холоднее температуры насыщения при своём давлении
Зона выемки трубок	Свободное место у торца кожухотрубного аппарата на длину трубок для их чистки и замены
ФСА	Функциональная схема автоматизации: приборы с кодами по ГОСТ 21.208, связи со счетами, блокировки
Сухой контакт	Проводной сигнал без протокола обмена; так передают защиты и разрешения на пуск
ОТР	Основные технические решения — пакет схем и данных для проектировщика

Список литературы

1. NCT. «Оборудование NCT 2026» — общий каталог.
2. NCT. Каталоги чиллеров: «Чиллеры NCT. Линейка» (май 2026), «Чиллеры NASV 26», «Чиллеры NARV 26», «Чиллеры NWCV 26», «Мини-буклет. Чиллеры NCT».
3. NCT. Техничко-коммерческие предложения 2026 по сериям NASA, NARA (в том числе с адиабатическим охлаждением), NCSA, NCRA, NWSA, NWRA, NWCV.
4. NCT. Инструкция по эксплуатации охладителя жидкости NCT NASA/NCSA.
5. NCT. Опросные листы: «Опросный лист на чиллеры NCT», «Опросный лист воздушный конденсатор NCT».
6. СП 131.13330 «Строительная климатология».
7. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
8. СП 73.13330.2016 «Внутренние санитарно-технические системы зданий».
9. СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».
10. ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012 (ISO 5149:1993) — безопасность холодильных систем.
11. ГОСТ Р 21.101-2020; ГОСТ 21.208-2013; ГОСТ 21.408-2013; ГОСТ 21.602; постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации».
12. ФНП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» (приказ Ростехнадзора № 536).
13. ANSI/AHRI Standard 550/590-2023 «Performance Rating of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle».
14. EN 14511, части 2 и 3; EN 14825; EN 12102 — испытания, сезонная эффективность и шум холодильных машин.
15. ASHRAE Handbook — Fundamentals; ASHRAE Handbook — HVAC Applications 2023; ASHRAE Climatic Design Conditions 2021.
16. ANSI/ASHRAE Standard 15 «Safety Standard for Refrigeration Systems»; ASHRAE Guideline 22 «Instrumentation for Monitoring Central Chilled-Water Plant Efficiency»; ANSI/ASHRAE Standard 135 (BACnet).
17. ANSI/HI 9.6.3 «Rotodynamic Pumps — Guideline for Operating Regions».
18. «Энергия Холода». Градирни NCT. Проектирование и обвязка. Руководство для инженеров ЭХ-APM002-RU, 2026.



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

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

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

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

ЭХ-АРМ003-RU (октябрь 2026). Материал для проектировщиков, распространяется свободно. Рабочие параметры для проекта — по техническому предложению на конкретную модель.