

Руководство для инженеров

Автоматика и щиты холодоснабжения NCT Проектирование

Система управления холодильной станцией:
датчики, питание и щит, логика, диспетчеризация, проект,
пусконаладка, нормы



Содержание

Введение	6
1. Система управления холодильной станции	7
2. Решения NCT	12
3. Исходные данные	16
4. Датчики и исполнительные механизмы	19
5. Электропитание и щит	26
6. Логика управления станцией	35
7. Протоколы и диспетчеризация	43
8. Расчёты с примерами	49
9. Проект	55
10. Пусконаладка и приёмка	60
11. Российские нормы	66
12. Самопроверка	72
13. Наши объекты	77
Словарь терминов	80
Список литературы	81

Список рисунков

Рисунок 1	Уровни управления станцией: вниз — жёсткие связи, вверх — по сети. Потеря верхней связи не останавливает станцию	8
Рисунок 2	Интерфейс станции с машиной: провод — для того, что должно сработать всегда, шина — для того, что полезно знать	9
Рисунок 3	Фрагмент ФСА контура испарителя: минимально достаточный набор приборов и функции контроллера станции	11
Рисунок 4	Щит автоматики на заводской сборке: вводной аппарат и силовые шины, ряды реле и клеммников, пусковые аппараты двигателей, отдельные кабельные каналы	13
Рисунок 5	Master-щит в системе: машины со своими щитами внизу, станция в середине, диспетчеризация сверху	14
Рисунок 6	Четыре типа входа контроллера: 4–20 мА, 0–10 В, термосопротивление по трёхпроводной схеме, сухой контакт	19
Рисунок 7	Гильза в трубе DN200: врезка за отводом и в пристеночном слое даёт до 1 К ошибки, правильная — в пределах паспорта тракта	20
Рисунок 8	Одна и та же паспортная погрешность на разных участках шкалы: рабочая точка — в 30–70 %	21
Рисунок 9	Прямые участки расходомера: 10 D до прибора и 5 D после, регулирующий клапан — после прибора	22
Рисунок 10	Реле протока — в цепи безопасности машины, расходомер — в контроллере станции	23
Рисунок 11	Авторитет клапана: перепады на ветке и установленная характеристика при $N = 0,2; 0,4; 0,8$	24
Рисунок 12	Особая группа I категории: ИБП держит контроллер, панель и приводы клапанов, самозапуск идёт ступенями, чтобы пусковые токи не сложились	27
Рисунок 13	Один насос 22 кВт при трёх способах пуска: разница в пиковом токе шестикратная	29
Рисунок 14	На линии длиннее 100 м сечение диктует не нагрев, а потеря напряжения	30
Рисунок 15	Четыре формы разделения по IEC 61439-2: от «отключаем всё» до замены контактора на работающей станции	32
Рисунок 16	Щит 2000 Вт отдаёт пассивно 370 Вт, остальное снимает вентилятор или кондиционер	33
Рисунок 17	Обогрев уличного щита борется не с морозом, а с точкой росы	34
Рисунок 18	Одни и те же данные при трёх настройках: зона убирает шум, задержка убирает переходные процессы, вместе — три пуска вместо двенадцати	36
Рисунок 19	Три чиллера по 350 кВт: ввод при 90 %, вывод при 80 %, в зоне перекрытия автоматика ничего не делает	37
Рисунок 20	Две гидравлические схемы — два критерия ввода следующей машины	39
Рисунок 21	Одно оборудование, три уставки перепада: экономия прячется в том, откуда взята уставка	40
Рисунок 22	Три уровня обмена: отказ диспетчеризации рвёт только верхний канал, станция продолжает работать	43

<i>Рисунок 23</i>	Четыре варианта разводки RS-485: рабочая только гирлянда с двумя терминаторами	45
<i>Рисунок 24</i>	Зоны и коридоры по IEC 62443: сервисный доступ идёт через VPN в промежуточную зону, а не в контроллер	47
<i>Рисунок 25</i>	Строка перечня сигналов: позиция по ФСА, тип сигнала, канал, уставка и участие в блокировке	51
<i>Рисунок 26</i>	Тепловой баланс на одной машине: испаритель плюс компрессор против измеренного конденсатора	54
<i>Рисунок 27</i>	Один прибор в обозначениях ГОСТ 21.208-2013 и ISA 5.1: буквы те же, номер означает разное	56
<i>Рисунок 28</i>	Однолинейная схема станции: две секции шин с АВР, цепи управления от ИБП отдельной группой	56
<i>Рисунок 29</i>	Пусконаладка как цепочка доказательств: на каждой ступени свой документ .	60
<i>Рисунок 30</i>	Конструкцию проверяют один раз, сборку — на каждом щите	61
<i>Рисунок 31</i>	Цепочка одного сигнала: имитация доказывает целостность только правее точки воздействия	63
<i>Рисунок 32</i>	Лестница первого пуска: на каждой ступени замеры и условие, при котором выше не поднимаются	64
<i>Рисунок 33</i>	Акт наверху опирается на протоколы внизу, а не заменяет их	65
<i>Рисунок 34</i>	Сечение защитного проводника по ПУЭ п. 1.7.126	68
<i>Рисунок 35</i>	Путь щита к знаку ЕАС	69
<i>Рисунок 36</i>	Чем оформляется работа в действующей электроустановке	69
<i>Рисунок 37</i>	Щит в жару: датчик у двери показывает 32 °С, над приводами уже 52 °С	73
<i>Рисунок 38</i>	Ледяная точка: проверка датчика температуры на объекте без лаборатории	74
<i>Рисунок 39</i>	Синдром низкого перепада: тот же расход несёт вдвое меньше холода	75
<i>Рисунок 40</i>	Щиты автоматики НСТ на объекте: шкафы управления на подставках, кабели заведены снизу из лотков	78

Список таблиц

Таблица 1	Классы сигналов между полем и контроллером	9
Таблица 2	Уровни системы управления: что делает и кто поставляет	10
Таблица 3	Щиты агрегатов NCT: что входит и что учесть в проекте	12
Таблица 4	Решения NCT под задачу проекта	15
Таблица 5	Режимы станции и исходные данные для них	16
Таблица 6	Категория электроснабжения по слоям станции	17
Таблица 7	Класс термопреобразователя под задачу	20
Таблица 8	Расходомеры: где применять	22
Таблица 9	Положение привода при потере питания	24
Таблица 10	Что измеряем, что выбрать, где ошибаются	25
Таблица 11	Категория надёжности по слоям холодильной станции	26
Таблица 12	Время переключения АВР	27
Таблица 13	Расчётная мощность станции: пример	28
Таблица 14	Способы пуска двигателя	29
Таблица 15	Защита двигателя на длинном моторном кабеле	31
Таблица 16	Формы разделения по IEC 61439-2	31
Таблица 17	Критерии ввода следующей машины	36
Таблица 18	Ориентиры по пускам компрессоров	37
Таблица 19	Стратегия ротации по типу объекта	38
Таблица 20	Обязательные колонки карты регистров	46
Таблица 21	Протоколы обмена: где встречаются и на что смотреть	48
Таблица 22	Электрические нагрузки сквозного примера	49
Таблица 23	Точки ввода-вывода станции из трёх чиллеров	50
Таблица 24	Тепловыделение щита станции	51
Таблица 25	Выбор охлаждения щита сквозного примера	52
Таблица 26	Потеря напряжения в кабеле насоса 22 кВт на 120 м	53
Таблица 27	Документы автоматики станции: что в них и кто делает	55
Таблица 28	Шаблон перечня сигналов	57
Таблица 29	Задания смежным разделам	57
Таблица 30	Красные слова в договоре на автоматику	58
Таблица 31	Ступени пусконаладки автоматики	60
Таблица 32	Приёмо-сдаточные проверки щита и критерии	61
Таблица 33	Поточечная проверка: типовые строки	62
Таблица 34	Пирамида документов ПНР	64
Таблица 35	Нормы для проекта автоматизации холодильной станции и щитов	66
Таблица 36	Типичные ошибки проекта автоматики холодильной станции	72
Таблица 37	Объекты, где прямо названа поставка автоматики NCT	77

К ЧИТАТЕЛЮ

Дорогие коллеги! Это руководство. Он объясняет, как устроена система управления холодильной станцией, почему датчики, щит, логику и обмен с диспетчерской делают так, а не иначе, и даёт цифры для проверки проекта. Но каждый объект живёт по своим условиям: свой состав станции, своё электроснабжение, своя система верхнего уровня 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, решения, расчёты, проект, пусконаладка. Кому какие разделы:

- **проектировщик автоматизации** — всё руководство, в первую очередь разделы 3–10 и чек-листы;
- **проектировщик электроснабжения** — разделы 5 и 8;
- **проектировщик холодоснабжения** — разделы 1, 3, 4 и 6;
- **специалист по диспетчеризации и ИТ заказчика** — раздел 7;
- **ГИП и главный инженер заказчика** — разделы 1–3 и раздел 12 (типовые ошибки);
- **эксперт, технический надзор и пусконаладка** — разделы 10–12.

Порядок разделов повторяет порядок работы над проектом:

- **разделы 1–2** — понять уровни системы и границы поставки, выбрать решения;
- **раздел 3** — собрать исходные данные и заполнить опросный лист на программу;
- **разделы 4–5** — датчики и исполнительные механизмы, электропитание и щит;
- **разделы 6–7** — логика управления станцией и обмен с диспетчерской;
- **разделы 8–10** — расчёты, состав проекта, пусконаладка и приёмка;
- **разделы 11–13** — российские нормы, самопроверка с итоговым чек-листом, наши объекты.

Автоматику отдельных машин мы уже разобрали в других книгах серии: чиллеров — в ЭХ-АРМ003-RU, градирен — в ЭХ-АРМ002-RU, драйкулеров и испарительных конденсаторов — в ЭХ-АРМ005-RU, насосных станций — в ЭХ-АРМ006-RU, АБХМ — в ЭХ-АРМ001-RU. Здесь — станция целиком: как машины, насосы и аппараты работают вместе. **Рабочие данные для проекта — всегда из документации на конкретное оборудование и щит:** перечень сигналов и карту регистров выдаём бесплатно по опросному листу (раздел 3).

ПРИМЕЧАНИЕ

Чем мы помогаем проектировщику. «Энергия Холода» — производитель оборудования NCT с собственным конструкторским бюро и производством щитов. Проектировщику заказчика бесплатно: перечень сигналов, карта регистров, функциональная схема станции, замечания к однолинейной схеме и проверка раздела автоматизации до экспертизы.

1. Система управления холодильной станции

Холодильная станция — это машины, насосы, градирни или драйкулеры, баки и арматура, которые должны работать как один агрегат. Связывает их система управления. Её проектируют не сверху вниз «от красивой мнемосхемы», а снизу вверх: от гильзы на трубе до порта диспетчеризации. Главный вопрос раздела — что перестанет работать, если откажет каждый из уровней, и кто за этот уровень отвечает.

Автоматику отдельных машин серия уже разобрала: чиллеры — в руководстве ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 11; градирни — ЭХ-АРМ002-RU, раздел 9; драйкулеры и испарительные конденсаторы — ЭХ-АРМ005-RU, раздел 9; насосные станции — ЭХ-АРМ006-RU, раздел 10. Здесь — станция целиком.

1.1. Четыре уровня и что на каждом стоит

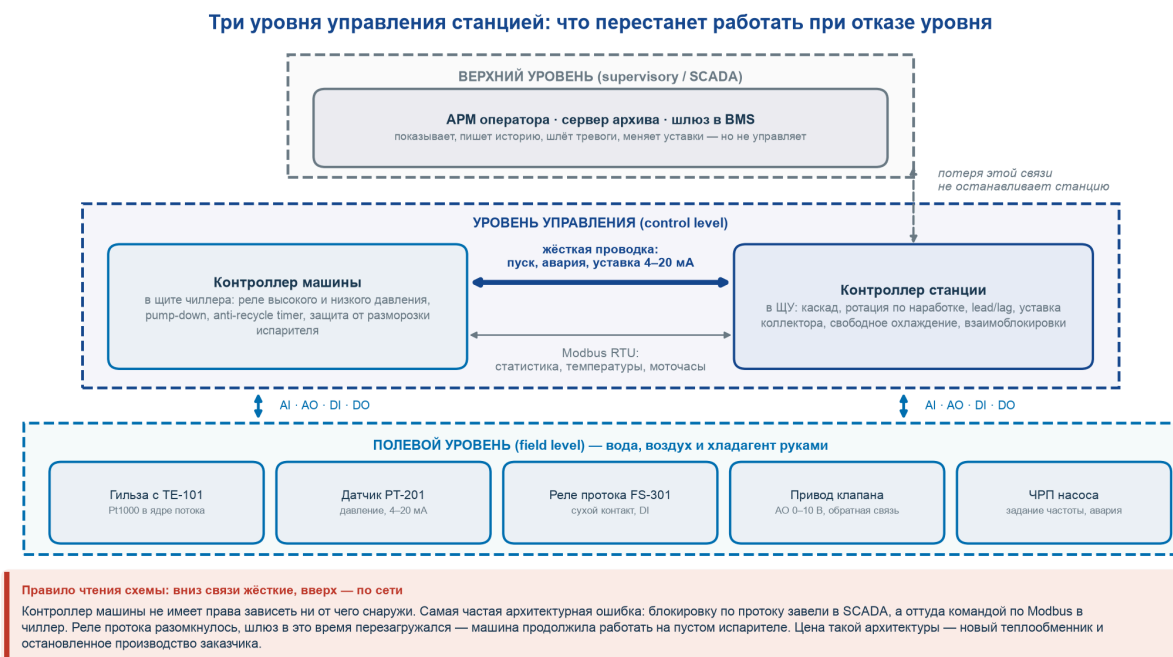
Полевой уровень (field level). Всё, что касается воды, воздуха и хладагента: термопреобразователи сопротивления в гильзах, преобразователи давления и перепада, реле протока, расходомеры, датчики уровня в баке и поддоне градирни. Здесь же исполнительные механизмы: приводы двух- и трёхходовых клапанов, частотные преобразователи насосов и вентиляторов, пускатели, соленоиды подпитки и продувки. Физически это трубы, рамы аппаратов, площадка градирни и кабельные лотки до щитов.

Щиты машин и агрегатов. У каждой холодильной машины свой контроллер и своя цепь безопасности: реле высокого и низкого давления, откачка хладагента перед остановом (pump-down), запрет частых пусков (anti-recycle timer), защита испарителя от замерзания. У градирни, насосной группы, испарительного конденсатора, панели водоподготовки — свои локальные щиты. Контроллер машины не имеет права зависеть ни от чего снаружи: он защищает компрессор и теплообменник, даже если щит станции обесточен.

Щит станции (Master-щит). Решает задачи, которые не видны с одной машины: ступенчатый ввод и вывод машин (staging), ротацию по наработке, выбор ведущей и ведомой машины (lead/lag), общую уставку по коллектору, свободное охлаждение, насосы и их резерв, байпас градирни, вентиляторы, подпитку, аварийные взаимоблокировки. В обозначениях проекта это щит автоматического управления станцией (ЩАУ).

Диспетчерский уровень (supervisory level, SCADA). Рабочее место оператора (АРМ), сервер архива, шлюз в систему управления зданием (BMS, building management system). Он показывает, пишет историю, рассылает тревоги и в заданных пределах меняет уставки. Процессом он **не управляет**: если связь с диспетчеризацией пропала, станция работает по последним действующим уставкам.

Рисунок 1 Уровни управления станцией: вниз — жёсткие связи, вверх — по сети. Потеря верхней связи не останавливает станцию



Наверху рвётся связь и теряются данные, внизу рвётся проводка и теряется оборудование

ВНИМАНИЕ

Самая частая архитектурная ошибка. Блокировку по протоку заводят в SCADA, а оттуда командой по Modbus в чиллер. Реле протока разомкнулось, шлюз в это время перезагружался — машина продолжала работать на пустом испарителе. Итог — новый теплообменник и остановленное производство.

1.2. Право на останов: защита — проводом, информация — по шине

Уровни различаются не сложностью, а правом остановить оборудование. Это право есть у поля и у контроллеров машин и станции, его нет у диспетчеризации. Отсюда правило, на котором строится вся граница между щитами.

Жёсткой проводкой (hardwired) выполняют:

- разрешение работы машины: дискретный выход станции → дискретный вход машины, размыкание — штатный останов;
- общую аварию машины: беспотенциальный нормально замкнутый контакт, тогда обрыв кабеля тоже читается как авария;
- реле протока — напрямую в цепь безопасности машины, без промежуточных звеньев;
- блок-контакт (подтверждение работы) насоса;
- аварийный останов — отдельной цепью;
- внешнюю уставку, если она меняется извне, — сигналом 4–20 мА или переключением двух-трёх фиксированных уставок дискретными сигналами.

По цифровой шине (Modbus RTU/TCP, BACnet) забирают фактические температуры и давления машины, ступень загрузки, моточасы, число пусков, коды аварий, ток компрессора. Эти данные

нужны для аналитики и разбора гарантийного случая, но ни одна из них не может быть звеном в цепи защиты.

Почему так — видно по времени реакции. По жёсткой проводке от размыкания реле протока до команды на останов компрессора проходят десятки миллисекунд. Через шлюз, SCADA и обратно — от секунд до «никогда, если шлюз завис». У шины есть время опроса, буфер и способность «за-липнуть» на последнем валидном значении.

Рисунок 2 Интерфейс станции с машиной: провод — для того, что должно сработать всегда, шина — для того, что полезно знать



Провод — для того, что должно сработать всегда, шина — для того, что полезно знать

Между полем и контроллерами ходят четыре класса сигналов, на них строится перечень точек (I/O list) и любая смета на автоматику:

Таблица 1 Классы сигналов между полем и контроллером

Класс	Что это	Что через него идёт на станции
AI, аналоговый вход	непрерывная величина в контроллер	температуры, давления, перепады, расход, уровень, обратная связь по положению клапана
АО, аналоговый выход	непрерывная команда из контроллера	задание частоты преобразователю, положение регулирующего клапана
DI, дискретный вход	«да/нет» в контроллер	реле протока, авария машины, состояние автомата, «ручной/авто», концевик
DO, дискретный выход	«да/нет» из контроллера	пуск насоса, разрешение работы машины, соленоид подпитки, сирена

Выбор типа аналогового сигнала и правила кабельных трасс — в разделе 4.1.

1.3. Граница поставки: завод, поставщик автоматики, генподрядчик

Самый дорогой спор на пусконаладке — «это не наше». Кабель между щитом и аппаратом не заказан никем, гильза не сварена, порт диспетчеризации есть, а мнемосхем в системе заказчика нет. Границу фиксируют на стадии П таблицей «кто поставляет / кто монтирует / кто подключает / кто настраивает» по каждой позиции.

Типовое распределение для станции с оборудованием и автоматикой NCT:

Таблица 2 Уровни системы управления: что делает и кто поставляет

Уровень	Что делает	Кто поставляет	Что обычно выпадает из поставки
Полевой: датчики и приводы на трубах	Измеряет, исполняет команды	Приборы — по спецификации автоматики; гильзы, бобышки, отборы, прямые участки — технолог в проекте и монтажная организация	Врезка гильз и отборов, монтаж первичных приборов на трубопроводах, кабели от щита до приборов
Щит машины, щит градирни, насосной, ИК	Защищает свой агрегат, держит его режим	Завод-изготовитель агрегата; щиты градирен, ИК и насосных NCT — опция по опросному листу	Реле протока поставляется с чиллером отдельно и ставится монтажниками; защита насосов от сухого хода — проект и монтаж; кабели между щитом и ИК
Щит станции (Master-щит)	Связывает агрегаты, ведёт каскад, резерв, ротацию, аварию станции	Поставщик автоматики станции: щит, программа контроллера, подключение приборов к клеммам щита, пусконаладка	Электроснабжение до вводных клемм щита; кабельные трассы от щита к оборудованию
Диспетчерский	Показывает, архивирует, оповещает, меняет уставки в пределах	Заказчик или его интегратор; поставщик автоматики отдаёт данные на порт щита по согласованной карте параметров	Настройка серверов заказчика, мнемосхемы в его ПО, лицензии, шлюзы — если не оговорены отдельно

Граница интеграции проходит **по порту щита станции**: поставщик автоматики передаёт данные по оговорённому протоколу в объёме карты параметров, заказчик обеспечивает готовность принимающей стороны. 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 объекте.

ПРИМЕЧАНИЕ

Одна поставка — одна ответственность. Когда машины, градирни, насосные и Master-щит поставляет один изготовитель, ответственность за алгоритм станции лежит на одной стороне. Классический спор «чей контроллер виноват» снимается сам.

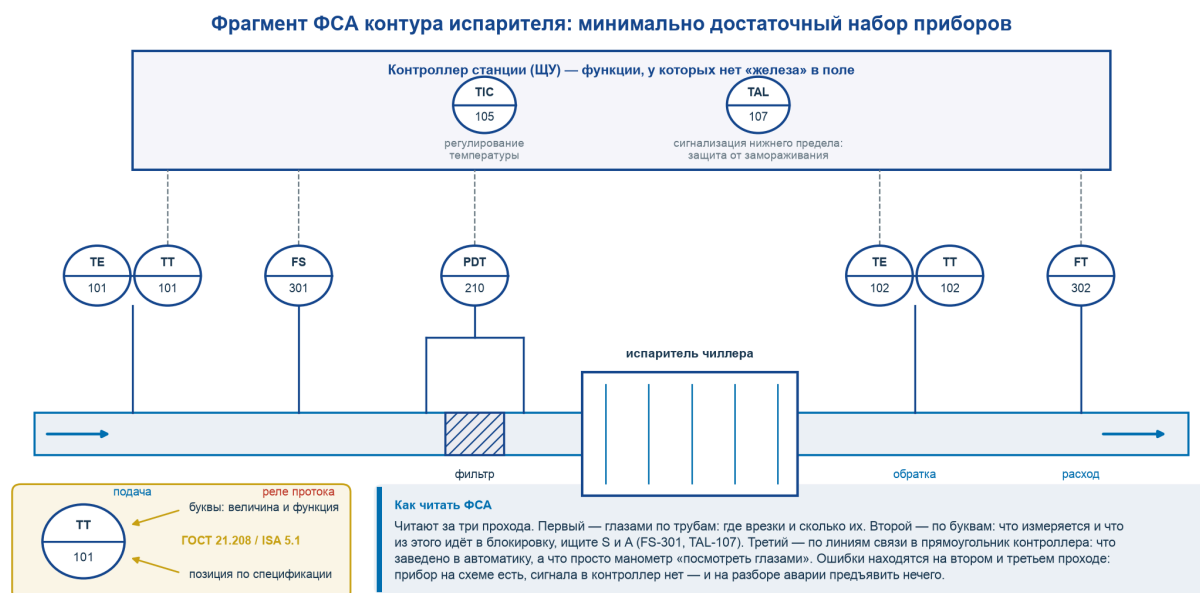
1.4. Что проектировщик отдаёт в раздел автоматизации

Программу контроллера проектировщик не пишет. Он передаёт исполнителю автоматики документы, по которым её пишут, а потом принимают:

1. **Функциональную схему автоматизации (ФСА)** по ГОСТ 21.208-2013 с позициями приборов, одинаковыми на схеме, в спецификации, в щите, в программе и на шильдике. 2. **Перечень точек** с разбивкой AI/AO/DI/DO, типом сигнала, диапазоном, участием в блокировке и архиве; резерв не менее 20 % каналов и не меньше двух каждого типа. 3. **Алгоритм работы** (sequence of operation): режимы, уставки, задержки, ввод машин, ротация, поведение при отказах — раздел 6.

4. **Перечень аварий** с разделением на останавливающие и сигнализирующие, с уставками и выдержками времени. 5. **Положение каждого привода при потере питания** — раздел 4.7. 6. **Протокол обмена и карту регистров**, кто мастер, кто делает шлюз — раздел 7. 7. **Таблицу границы поставки** — раздел 1.3.

Рисунок 3 Фрагмент ФСА контура испарителя: минимально достаточный набор приборов и функции контроллера станции



Документы с исходными данными для этих пунктов перечислены в разделе 3.

Чек-лист раздела 1: архитектура системы управления

- ☐ Станция разложена на четыре уровня, у каждого записан владелец.
- ☐ Реле протока, блок-контакт насоса, разрешение работы и аварийный останов идут проводом; по шине — только данные и уставки.
- ☐ В ТЗ прямым текстом: при потере связи с диспетчеризацией станция работает по последним действующим уставкам.
- ☐ Таблица «кто поставляет / монтирует / подключает / настраивает» заполнена по каждой позиции, включая кабели и врезки.
- ☐ Граница интеграции — порт щита станции; карта параметров и исполнитель шлюза названы.
- ☐ Для чужих машин в составе станции запрошены сухие контакты и карта регистров.

Правило прохода: если хоть одна защита проходит через шину или у уровня нет владельца, архитектура не готова к выпуску ТЗ.

2. Решения NCT

NCT поставяет автоматику на всех уровнях станции, кроме диспетчерского ПО заказчика: щиты машин, щиты агрегатов и насосных групп, Master-щит станции и подключение к диспетчеризации. Ниже — что входит в каждое решение и под какую задачу его брать. Состав конкретного щита фиксируют в опросном листе (раздел 3).

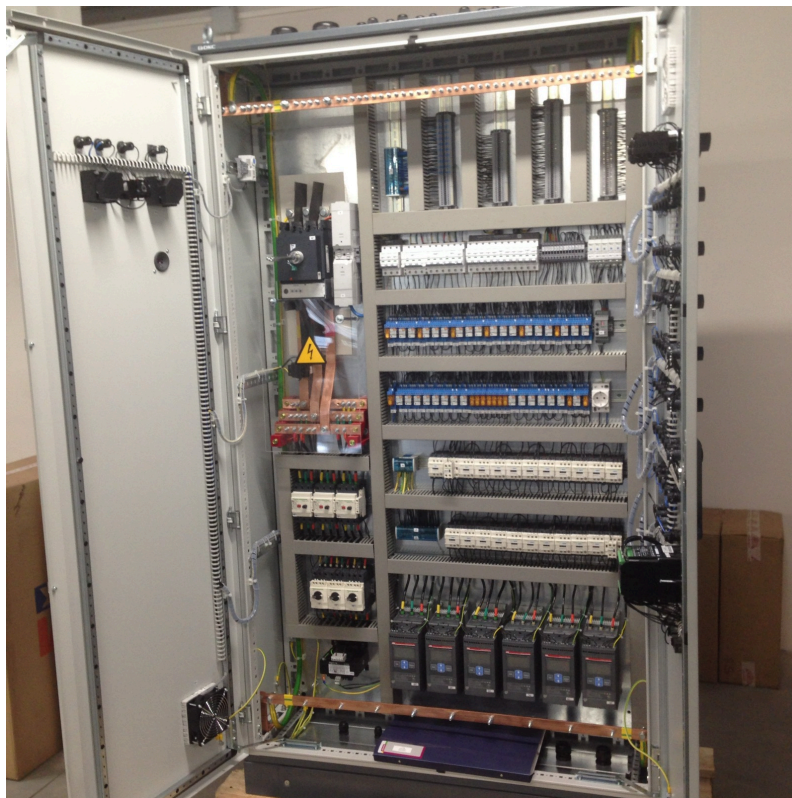
2.1. Щиты машин и агрегатов

Таблица 3 Щиты агрегатов NCT: что входит и что учесть в проекте

Агрегат	Что в щите	Опции	Что учесть в проекте
Чиллер NCT	Отдельный щит со своим контроллером и автоматикой безопасности компрессоров	Управление по Modbus RS-485	Проектировщик даёт щиту входы: реле протока и блок-контакт насоса. Реле протока приходит с машиной отдельно и ставится монтажниками на прямом участке
Насосная группа NCT	Рабочий и резервный насос, автоматическое переключение без оператора; два исполнения — с частотным преобразователем или «вкл/выкл» с устройством плавного пуска (УПП, soft starter)	Онлайн-мониторинг, подключение к SCADA по Modbus RTU и Ethernet	Тип щита — строка опросного листа. Защита от сухого хода — в проекте и монтаже, в состав чиллера не входит
Градирня NCT	Шкаф автоматики с частотным преобразователем	SCADA, удалённый мониторинг	Какой щит главный и какие сигналы идут между щитами — решают на стадии П
Испарительный конденсатор NCT	В базовой поставке щита нет	Щит с частотным преобразователем или без; датчик уровня и ТЭН поддона; SCADA по Modbus RTU / Ethernet	Кабели между щитом и аппаратом в поставку не входят; преобразователь вне щита — не дальше 50 м от конденсатора
Драйкулер NCT	Регулятор скорости вентиляторов, датчики температуры на каждый контур, щит для помещения с регулируемым климатом	Щит управления и защиты; частотный преобразователь вне основного щита	Стандартный щит — не для кровли: место под него решают на стадии П
Панель водоподготовки	W0C — солесодержание и продувка; W2C — дозирование и продувка; W3C — дозирование тремя насосами, солесодержание и продувка	—	Уставка продувки считается от анализа подпитки (ЭХ-АРМ006-RU, раздел 10)

Щит испарительного конденсатора по каталогу держит температуру или давление конденсации, управляет преобразователем, запускает аппарат и насос орошения через сухой контакт, вращает вентиляторы по наработке, ведёт журнал аварий и графики; кнопка аварийного выключения — на щите и выносная.

Рисунок 4 Щит автоматики на заводской сборке: вводной аппарат и силовые шины, ряды реле и клеммников, пусковые аппараты двигателей, отдельные кабельные каналы



2.2. Master-щит станции

Что объединяет. Master-щит сводит все элементы холодильной системы в единый контур управления: компрессоры, конденсаторы, испарители, насосные группы, вентиляторы, запорную и регулируемую арматуру. Управление и контроль процессов идут централизованно, в реальном времени. В станции NCT Master-щит объединяет до трёх холодильных машин и периферию по RS-485 / Modbus RTU, ведёт приоритеты, ротацию и аварию станции (ЭХ-АРМ003-RU, раздел 11).

Пять функций, которые закладывают в задание на щит:

1. **Автоматизация процессов** — автоматическое поддержание заданных температурных режимов, минимум ручных операций. 2. **Централизованное управление** — единая точка контроля всей системы и настраиваемая логика работы оборудования. 3. **Энергоэффективность** — оптимизация работы компрессоров и вентиляторов; алгоритмы с цифрами — в разделах 6 и 8. 4. **Диспетчеризация и удалённый доступ** — контроль с ПК, через SCADA или облачные решения, оповещения об авариях и отклонениях. 5. **Защита оборудования** — контроль аварийных режимов, защита компрессоров и узлов системы.

Где применяется: холодильные склады и логистические центры, пищевые и фармацевтические производства, агропромышленные комплексы, торговые сети.

Что даёт эксплуатации: работу системы 24/7 без ручного переключения, быструю диагностику по журналу и архиву, прозрачность процессов и меньше затрат на электроэнергию за счёт согласованной работы машин, насосов и вентиляторов.

Рисунок 5 Master-щит в системе: машины со своими щитами внизу, станция в середине, диспетчеризация сверху



Каждый уровень работает сам, если соседний замолчал: машина защищает себя, станция держит холод без диспетчеризации

ВНИМАНИЕ

Master-щит не заменяет защиты машин. Он видит аварию машины и снимает разрешение, но цепь безопасности компрессора остаётся в щите машины. Станция без Master-щита — набор машин, каждая из которых держит свою уставку; щит без защит машин — точка отказа.

2.3. Диспетчеризация и программа контроллера

Master-щит и щиты агрегатов отдают данные вверх по протоколу, который выбирают в опросном листе; по умолчанию в нём стоит Modbus TCP, другой протокол указывают отдельно. Режимы управления, которые предлагает опросный лист: местный (с панели щита) и дистанционный — с АРМ, через интеграцию на верхний уровень или с выносных панелей управления. Аварийная сигнализация — световая и (или) звуковая, отдельно отмечают предупредительную.

Функции контроллера тоже выбирают явно: информационные, управляющие, обмен с устройствами других уровней системы. Журнал аварий и журнал событий хранится в контроллере 6 месяцев; если нужна большая глубина архива, её закладывают на сервере диспетчеризации (раздел 7).

ПРИМЕЧАНИЕ

Что вы получаете по программе. Отдельный проект ПО не выпускается: файл программы контроллера передаётся в электронном виде, дубль файла — дополнительная опция. Запишите в договоре, кому и в каком формате передаётся файл и кто вправе менять алгоритм после пуска: от этого зависит гарантия.

2.4. Что под какую задачу

Таблица 4 Решения NCT под задачу проекта

Задача на объекте	Решение	Почему
Одна машина, постоянный режим, своя насосная	Щит машины + щит насосной группы, связь сухими контактами	Совмещать роли машины и станции допустимо, только когда машина одна
Две-три машины, градирни или драйкулеры, резерв насосов	Master-щит + щиты агрегатов	Нужны каскад, ротация, АВР насосов, байпас градирни и общая авария
Переменный расход во вторичном контуре	Щит насосной группы с частотным преобразователем, датчик перепада на дальней ветке	Экономия на насосах есть только при меняющемся расходе (ЭХ-АРМ006-RU, раздел 10)
Постоянный расход, нужен мягкий пуск	Щит насосной «вкл/выкл» с УПП	Регулировать скорость незачем, нужен только плавный пуск
Открытая градирня с водоподготовкой	Щит градирни + панель W0C/W2C/W3C	Продувка по электропроводности и дозирование по подпитке
Склад, пищевое или фармпроизводство с круглосуточным холодом	Master-щит с диспетчеризацией и оповещением	Работа 24/7, журнал аварий, удалённый контроль
Существующая BMS заказчика	Master-щит с портом верхнего уровня и картой параметров	Здание видит станцию и меняет уставки, но не управляет насосами напрямую

Чек-лист раздела 2: решения выбраны

- ☐ По каждому агрегату решено: свой щит NCT, щит в составе машины или щит заказчика.
- ☐ Для насосных групп выбрано исполнение: частотный преобразователь или УПП.
- ☐ Решено, нужен ли Master-щит, и перечислено, что он объединяет.
- ☐ Выбран протокол верхнего уровня и режимы управления: местный, АРМ, интеграция, выносные панели.
- ☐ Записано, куда ставится каждый щит: помещение с регулируемым климатом или улица.
- ☐ В договоре указан формат передачи программы и право на её изменение.

Правило прохода: состав щитов и протокол должны стоять в опросном листе до запроса цены, иначе предложение придёт «на всякий случай» и его придётся пересчитывать.

3. Исходные данные

Программу станции пишут по исходным данным, а не по догадкам. Пустая строка опросного листа превращается в «настройку по умолчанию», и на пусконаладке каждую уставку обсуждают заново. Ниже — что собрать до запроса на щит и программу.

3.1. Состав станции

Перечислите каждую единицу оборудования с количеством и тегом, одинаковым во всех документах (СН-1, Р-1А, СТ-1). Опросный лист на программу спрашивает по типам: градирни, насосные группы, АБХМ, парокомпрессионные холодильные машины, выносные конденсаторы, теплообменники, баки, щиты.

Для каждой единицы нужны три ответа: есть ли у неё собственный контроллер, какие сигналы она выдаёт сухими контактами и по какому протоколу отдаёт данные. Для машин чужого производства запросите карту регистров до выпуска ТЗ. Для АБХМ уточните по спецификации модели, какие разрешения выдаёт машина (насосы, градирня), а что регулирует станция.

3.2. Режимы и сценарии

Для каждого режима задайте условие входа, условие выхода, что работает и что заблокировано. Минимальный набор:

Таблица 5 Режимы станции и исходные данные для них

Режим	Что задать	Откуда данные
Летний, расчётный	Температуры холодоносителя подача/обратка, расчётная нагрузка и её график, число машин в работе	Технолог, расчёт теплопритоков
Частичная нагрузка	Пороги ввода и вывода машин, допустимое число пусков в час, минимальный расход через испаритель	Паспорта машин, раздел 6
Зимний	Минимальная температура воды на конденсатор, режим байпаса градирни, обогрев поддона и щита, нижний предел частоты вентиляторов	Паспорта машин и градирен, климат площадки
Свободное охлаждение	Схема (прямая, через теплообменник, частичная), требуемая температура подачи, приближения аппаратов	Технолог, подбор теплообменника и градирни или драйкулера
Аварийный	Что останавливает станцию, что только сигнализирует; действия при отказе машины, насоса, датчика, связи	Технолог, служба эксплуатации
Пропадание и восстановление питания	Что запускается само, в каком порядке и с какой паузой; какие аварии требуют человека	Категория электроснабжения, раздел 3.4

Для свободного охлаждения и зимы обязательны наружные датчики: температура по сухому термометру и относительная влажность (или прямой датчик мокрого термометра). Место — часть проекта: северная сторона, в тени, на высоте не менее 2,5 м, вне факела градирни и выброса конденсаторов, в солнцезащитном экране. Датчик на южной стене летом завышает температуру на 8–12 К, и свободное охлаждение работает по выдуманной погоде.

ПРИМЕЧАНИЕ

Самый сильный рычаг — температура подачи. Если технологии хватает более тёплой воды, укажите это: точка перехода на свободное охлаждение сдвигается, и режим работает больше часов в году. Расчёт точки перехода — раздел 8.

3.3. Резерв

Запишите схему резервирования по каждой группе: машины, насосы, вентиляторы градирен. На ответственных объектах закладывают N+1. Для насосов задайте признак отказа (авария преобразователя или защиты двигателя, нет подтверждения работы, нет перепада на насосе через заданное время) и действие АВР: пуск резервного насоса без останова машины.

АВР насосов успевает, только если переключение и разгон резерва короче выдержки реле протока машины и запаса объёма воды в контуре. На ответственных объектах объём закладывают на 30–120 с работы. Ротацию по наработке выполняют при остановленной группе или в заданное время, без одновременного пуска двух насосов на общий коллектор.

3.4. Электропитание и категория надёжности

Категорию надёжности электроснабжения по ПУЭ (7-е издание, глава 1.2, пункты 1.2.17–1.2.21) определяет технолог по последствиям перерыва питания. I категория — два независимых взаимно резервирующих источника, перерыв только на время автоматического ввода резерва; особая группа I категории — ещё и третий независимый источник (дизель-генератор, ИБП, отдельная линия). II категория — два источника, перерыв на время переключения дежурным персоналом. III категория — один источник, перерыв до суток.

Станция редко имеет одну категорию целиком. Задайте её по слоям:

Таблица 6 Категория электроснабжения по слоям станции

Слой станции	Типовая категория	Почему
Контроллер, панель оператора, цепи управления, аварийная сигнализация	Особая группа I	Должны пережить пропадание силового питания и сообщить о нём
Насосы контура критичного потребителя	I	Остановка циркуляции — перегрев процесса за минуты
Компрессоры машин	I или II	По тепловой инерции объекта: у здания часы, у технологии минуты
Вентиляторы градирни, драйкулера	II	Короткий останов контур переживает
Обогрев поддона, обогрев щита, освещение	II или III	Зимой обогрев поддона становится I: замерзание — авария

Категория — требование не только к силовой схеме, но и к программе. Для объекта I категории в исходных данных указывают: энергонезависимое хранение уставок, автоматический самозапуск после АВР с разнесением пусков, положение клапанов при потере питания, перечень аварий, которые снимаются сами, и тех, что ждут человека. Отключение по тепловой защите компрессора автоматически не сбрасывается никогда. Проверяйте категорию по однолинейной схеме: два ввода от одного трансформатора — это одна точка отказа, что бы ни было написано в ТЗ. Расчёт питания и щита — раздел 5.

3.5. Протоколы и система верхнего уровня заказчика

Первый вопрос заказчику — какой протокол у его существующей диспетчеризации; задают его до обсуждения оборудования. Договариваться нужно не о протоколе, а о списке точек: фраза «поддерживаем Modbus» без карты регистров ничего не значит. Соберите:

- протокол и физическую среду (Modbus RTU по RS-485, Modbus TCP, BACnet по ANSI/ASHRAE 135), скорость, кто мастер;
- карту параметров: что отдаём, что принимаем как команду, что только как информацию;
- глубину архива, состав журнала аварий, роли пользователей, источник синхронизации времени;
- требования службы безопасности к удалённому доступу: отдельная сеть автоматики, доступ через VPN заказчика, без проброса портов в интернет;
- кто выполняет интеграцию, кто предоставляет шлюзы и лицензии.

Подробно — раздел 7.

3.6. Что критично в опросном листе на программу

Опросный лист на разработку программы NCT спрашивает об этом прямо. Пустые строки в нём дороже всего:

1. **Есть ли ТЗ и алгоритм работы.** Нет алгоритма — программа пишется по типовой логике, и всё нестандартное становится доработкой. 2. **Есть ли принципиальные схемы щитов и ФСА.** От них зависит, кто их выпускает. 3. **Стандартное ПО или по требованиям заказчика.** 4. **Функции контроллеров:** информационные, управляющие, обмен с другими уровнями, хранение журнала аварий и событий 6 месяцев. 5. **Состав оборудования** с количеством единиц — раздел 3.1. 6. **Контроллер и выносные панели:** стандартные или по требованию заказчика; протокол верхнего уровня. 7. **Уровень автоматизации:** без автоматизации, автоматический и ручной, только автоматический, противоаварийная автоматизация. 8. **Режим управления и сигнализация:** местный, АРМ, интеграция, выносные панели; световая, звуковая, предупредительная.

В графу «дополнительные сведения» впишите электроснабжение и требования к интерфейсу. В закупках по 44-ФЗ и 223-ФЗ марку контроллера сопровождают словами «или эквивалент» и параметрами эквивалентности: открытость протокола, сервис в регионе, доступность модулей, язык интерфейса, выгрузка архива.

Чек-лист раздела 3: исходные данные собраны

- ☐ Каждая единица оборудования с тегом, своим контроллером, сухими контактами и протоколом.
- ☐ Для каждого режима — условия входа и выхода; место наружного датчика выбрано по правилам.
- ☐ Схема резерва и признаки отказа насоса записаны; время АВР короче выдержки реле протока.
- ☐ Категория электроснабжения задана по слоям и сверена с однолинейной схемой.
- ☐ Протокол заказчика, карта параметров и исполнитель интеграции известны.
- ☐ Опросный лист на программу заполнен без пустых строк.

Правило прохода: пустая строка в опросном листе — запрос на щит и программу отправлять рано.

4. Датчики и исполнительные механизмы

Погрешность датчика написана в паспорте, погрешность монтажа — нет, и на объекте вторая обычно больше первой. Поэтому раздел не о марках приборов, а о том, что заложить в проект: тип сигнала, место врезки, шкалу, прямые участки, положение привода при потере питания.

4.1. Сигнал и кабель

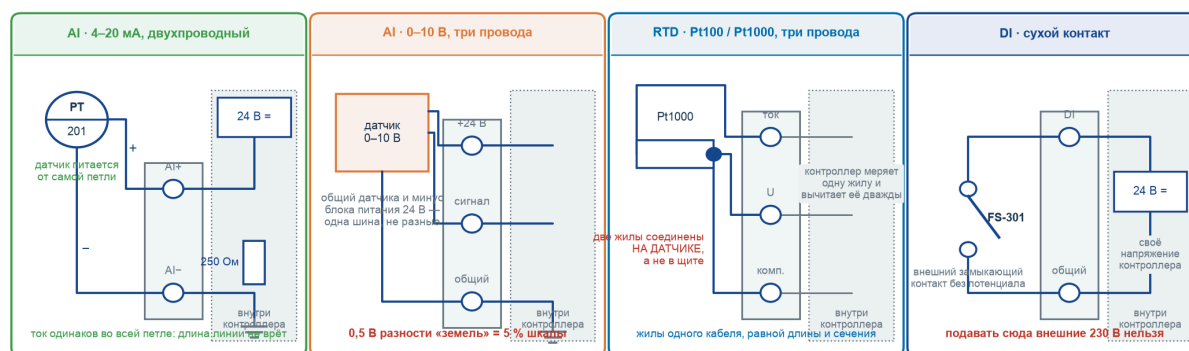
4–20 мА против 0–10 В. Токовая петля не чувствительна к сопротивлению проводов, пока хватает напряжения питания. Расчёт: питание 24 В, датчику нужно 12 В, на входе контроллера шунт 250 Ом (5 В при 20 мА) — на провода остаётся 7 В, то есть 350 Ом. Петля из двух жил 0,5 мм² — 0,07 Ом на метр, предельная длина $350 / 0,07 = 5000$ м. Сигнал 0–10 В ломается не на падении напряжения, а на разности потенциалов «земель» щита и площадки: 0,5 В разности — это 5 % шкалы, на датчике 0–16 бар — 0,8 бар ошибки. Ещё одно преимущество 4–20 мА — «живой ноль»: ток ниже 3,6 мА контроллер читает как обрыв, а у 0–10 В обрыв выглядит как честный ноль.

Ориентир: 0–10 В — до 10–50 м и в стороне от силовых кабелей; 4–20 мА — сотни метров.

Трассы. Аналоговые сигналы — витая пара в общем экране; экран заземляют только со стороны щита. Сигнальные и силовые кабели — в разных лотках, 200–300 мм при параллельной прокладке, пересечения под прямым углом. Экран кабеля «частотный преобразователь — двигатель», наоборот, заземляют с двух сторон через круговой хомут. Резерв в лотках — не менее 30 % сечения.

Рисунок 6 Четыре типа входа контроллера: 4–20 мА, 0–10 В, термосопротивление по трёхпроводной схеме, сухой контакт

Четыре входа контроллера: одинаковые клеммы, разная физика за ними



Что проверяют на клеммнике до подачи питания

0–20 мА и 0–10 В не имеют «живого нуля»: обрыв линии выглядит как честный ноль, и система уходит регулировать по несуществующей величине — так вентиляторы градирни встают на 100 % «потому что температура ноль». У 4–20 мА ток ниже 3,6 мА контроллер читает как обрыв. Обратное правило для DI: на вход 230 В нельзя вешать маломощный сухой контакт — он залипнет на окисле, потому что ток слишком мал.

Класс сигнала выбирают не по цене датчика, а по тому, как он умирает

4.2. Температура

Тип. На воде и гликоле — платиновые термopреобразователи сопротивления (RTD, resistance temperature detector) Pt100 или Pt1000 по IEC 60751 (ГОСТ 6651-2009). Термopары в холодильном диапазоне проигрывают в точности: тип К класса 1 даёт $\pm 1,5$ К; их место — дымовые газы и пар АБХМ.

Класс допуска выбирают по задаче:

Таблица 7 Класс термопреобразователя под задачу

Задача	Класс по IEC 60751	Допуск при 0 °С
Регулирование, сигнализация, защита	B	$\pm 0,30$ К
Диагностика, контроль режима	A	$\pm 0,15$ К
Расчёт холодопроизводительности	A или AA, пара одного типа и партии	$\pm 0,15 / \pm 0,10$ К
Коммерческий учёт	поверенная пара в составе теплосчётчика	по требованию учёта

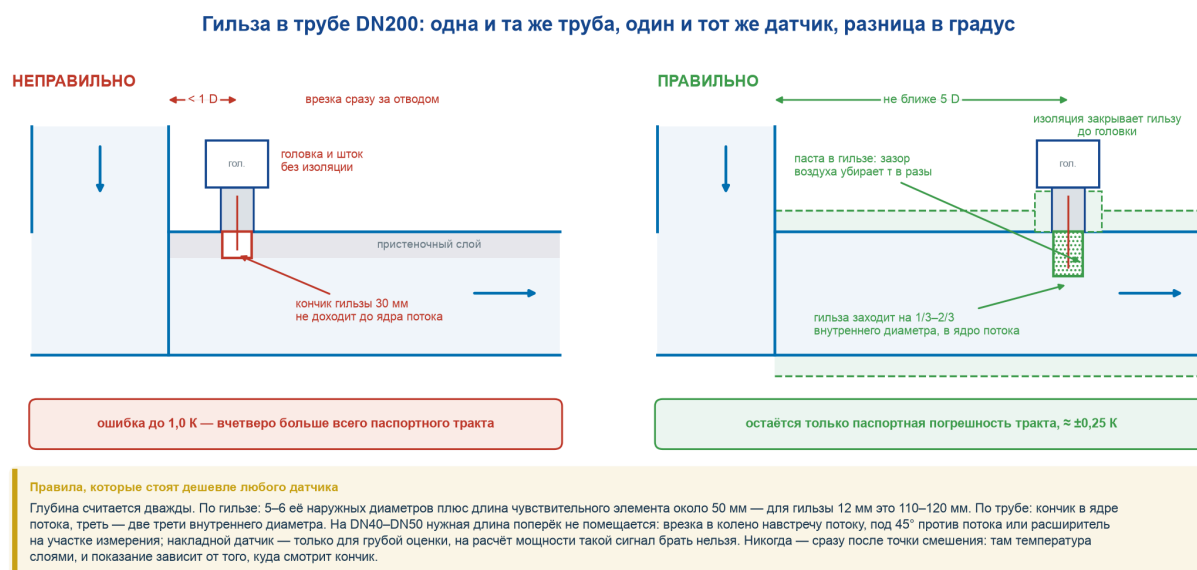
Класс AA у плёночного элемента нормирован только от 0 до +150 °С. На гликоле с минусовой температурой указывайте проволоочный элемент или проверяйте диапазон нормирования в паспорте.

Схема подключения. В двухпроводной схеме сопротивление линии складывается с датчиком. Медь 0,5 мм², 40 м: петля 2,8 Ом, на Pt100 (0,385 Ом/К) это +7,3 К, на Pt1000 — +0,73 К. Отсюда правило: Pt100 — только по трём или четырём проводам, жилы одного кабеля, перемычка на клеммах датчика, а не в щите. Для удалённых точек (градирня на крыше, выносной бак) — датчик с преобразователем 4–20 мА в головке.

Гильза. Без гильзы датчик не заменить без слива контура. Глубина погружения — 5–6 наружных диаметров гильзы плюс длина элемента около 50 мм: для гильзы 12 мм это 110–120 мм; кончик — в ядре потока, на 1/3–2/3 внутреннего диаметра. На DN40–DN50 гильзу ставят в колено навстречу потоку или под 45° против потока. Накладной датчик под изоляцией — только для грубой оценки.

Место. Не ближе 5 диаметров после отвода, тройника, клапана, насоса; после точки смешения (байпас, подмес) — не ближе 5–10 диаметров: сразу за ней температура идёт слоями. На горизонтальном участке — сбоку или снизу под углом. Гильзу заполняют теплопроводной пастой, на холодном контуре изоляция закрывает её до головки: открытая гильза даёт 0,5–1,0 К ошибки. Материал гильзы на оборотной воде согласуют с водоподготовкой.

Рисунок 7 Гильза в трубе DN200: врезка за отводом и в пристеночном слое даёт до 1 К ошибки, правильная — в пределах паспорта тракта



Верхняя половина бюджета точности покупается деньгами, нижняя — вниманием на монтаже

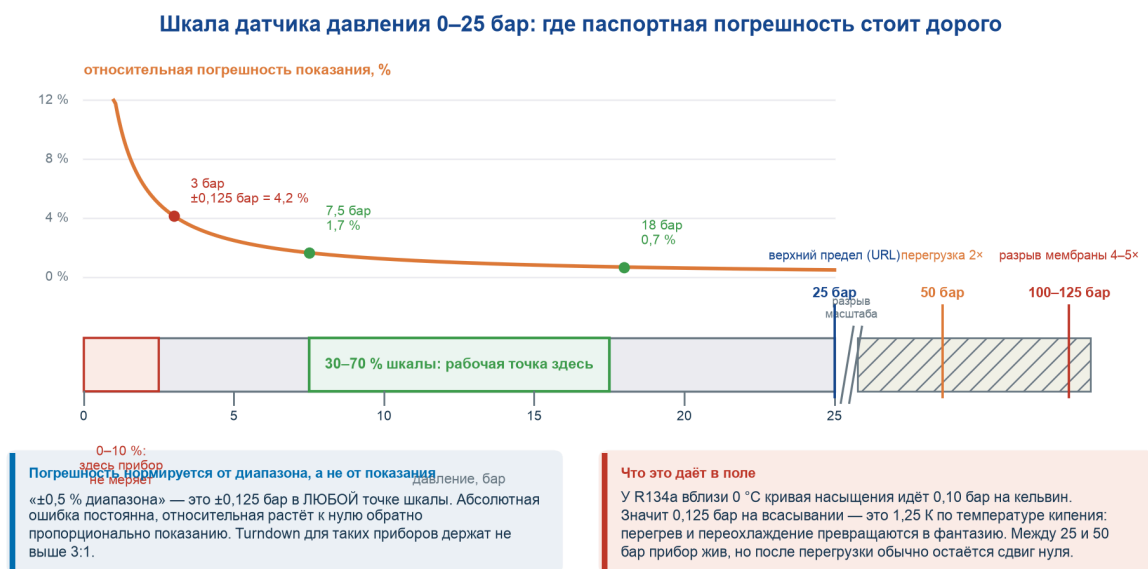
ПРИМЕЧАНИЕ

Ошибка в градус — это 20 % мощности. Мощность считают как $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta t$ (кВт, м³/ч, К). При $\Delta t = 5$ К ошибка перепада 1 К даёт 20 % ошибки по мощности, 0,5 К — 10 %. Пара датчиков класса В на 7/12 °С даёт до 0,70 К, класса А — 0,34 К. Нужна точность — ставьте пару класса А из одной партии и закладывайте больший расчётный перепад.

4.3. Давление и перепад

Шкала. Погрешность преобразователя давления нормируется от диапазона, а не от показания. Датчик 0–25 бар с погрешностью $\pm 0,5$ % диапазона даёт $\pm 0,125$ бар в любой точке: на 18 бар это 0,7 %, на 3 бар — 4,2 %. Рабочая точка должна лежать в 30–70 % шкалы. На воде контура PN16 берут 0–10 или 0–16 бар по статике здания, а не по напору насоса. Перегрузочное давление обычно 2× верхнего предела, разрывное — 4–5×: после гидроудара у датчика часто остаётся сдвиг нуля.

Рисунок 8 Одна и та же паспортная погрешность на разных участках шкалы: рабочая точка — в 30–70 %



Одна и та же паспортная погрешность в разных точках шкалы стоит разных денег

Отбор и импульсные линии. На жидкости штуцер врезают сбоку трубы, в секторе 3–9 часов: сверху уходит воздух, снизу — шлам. Точка — на прямом участке, не в отводе и не сразу за регулирующим клапаном; перед датчиком — отсечной вентиль. Импульсные линии — с непрерывным уклоном не менее 1:12, минимальной длины; у датчика перепада обе линии одинаковой длины, диаметра и в одних температурных условиях. Парные отборы до и после аппарата ставят на одной высоте: метр высоты — около 0,1 бар.

Улица и зима. Импульсная линия на морозе замерзает раньше магистрали. Обогревают всю длину вместе с вентильным блоком и корпусом датчика, лучше — ставят датчик прямо на штуцер отбора в утеплённом узле.

Перепад давления — самый дешёвый диагностический параметр: фильтр, испаритель, конденсатор, дальний потребитель для регулирования насосов. У прибора два независимых числа: диапазон по разности (например, 0–1 бар) и допустимое статическое давление; прибор 0–1 бар со статикой 4 бар в контуре с 12 бар порвётся. Пороги считают от паспортного перепада на чистом элементе: фильтр — предупреждение 2×, обслуживание 3×; пластинчатый испаритель — 1,3× и

1,5×. Нижний порог 0,3–0,5× ставят так же обязательно: резкое падение перепада на фильтре — это порванный элемент.

4.4. Расход

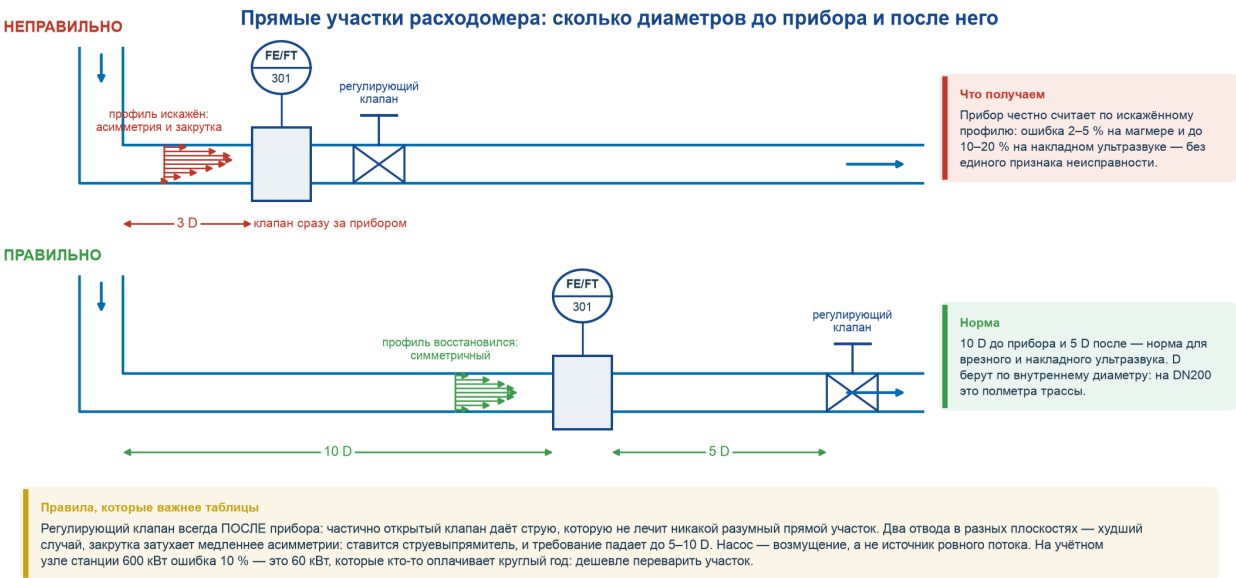
Расходомер нужен для ввода машин по нагрузке, учёта холода и доказательства проектной мощности. Тип выбирают по задаче:

Таблица 8 Расходомеры: где применять

Тип	Где применим	Точность	Что ломает
Электромагнитный	Вода, гликоли, обратная вода; широкий диапазон	0,2–0,5 % от измеренного	Воздух, неполное заполнение, отложения на электродах
Ультразвуковой врезной	Учёт, чистая вода, большие диаметры	0,5–1 %	Загрязнение, кавитация
Ультразвуковой накладной	Диагностика, ПНР	1–3 % в поле	Воздух, налёт, шов под датчиком, короткие прямые участки
Вихревой	Стабильный расход	0,75–1,5 %	Низкий расход: работает примерно от $Re = 10\,000$
Турбинный (крыльчатый) с импульсным выходом	Подпитка, продувка	0,5–1 %	Грязь, износ

Прямые участки считают по внутреннему диаметру: электромагнитный — 5 D до и 3 D после, при сложной гидравлике (после насоса, двух отводов в разных плоскостях, клапана) — 10 D и 5 D; ультразвуковой — 10 D и 5 D; вихревой — 15–20 D и 5 D. На DN150 при 10 D / 5 D это 1,5 м до прибора и 0,75 м после. Регулирующий клапан — всегда после прибора. Прибор ставят на обратке, на восходящем участке или нижней горизонтали, где труба гарантированно заполнена, и никогда — на всасывании насоса. Нет места под участок — фиксируйте письменно, что расход не измеряется; накладной прибор на плохой гидравлике врёт на десятки процентов.

Рисунок 9 Прямые участки расходомера: 10 D до прибора и 5 D после, регулирующий клапан — после прибора



Профиль скорости восстанавливается в диаметрах трубы, а не в «примерно»

4.5. Уровень и реле протока

Уровень в баке и поддоне градирни: непрерывный сигнал — гидростатический зонд или датчик перепада (4–20 мА) в успокоительной трубе; дискретные уровни — кондуктометрические электроды или поплавковые выключатели. Аварийный низкий уровень — отдельный прибор и отдельная цепь защиты насоса, не тот же вход, что регулирование. Гистерезис подпитки — не меньше 50–100 мм. Для гликоля вводят поправку на плотность: у 30 % раствора около 1045 кг/м³, без поправки уровень занижен на 4,5 %.

Реле протока (flow switch) — защита, а не измерение: у лепесткового реле гистерезис достигает 30–50 %, а просадку расхода со 100 до 55 % оно не видит. Типы — лепестковое, дифференциальное реле давления на аппарате, термодисперсионное. Лепестковое ставят на горизонтальном прямом участке, по паспорту машины: обычно не менее 5 диаметров до и 3 после, по рекомендациям для лопастных реле — 5 Ду до и после. Задержки две: подтверждение протока при пуске 5–15 с и аварийный останов 2–5 с — не дольше, чем испаритель успевает замёрзнуть. Реле включают последовательно с подтверждением работы насоса, расходомер — в логику контроллера.

Рисунок 10 Реле протока — в цепи безопасности машины, расходомер — в контроллере станции



Дискретный датчик умеет только разрешать пуск — считать им нельзя ни киловатты, ни проценты

ВАЖНО

Реле протока не шунтируют. Ни «на время ПНР», ни «пока ждём прибор». Замерзание испарителя занимает секунды, замена пластинчатого теплообменника — недели.

4.6. Регулирующие клапаны и авторитет

Двухходовой клапан меняет расход в контуре (переменный расход), трёхходовой сохраняет постоянный расход через насос и аппарат и меняет маршрут потока. Типоразмер выбирают не по диаметру трубы и не «с запасом», а по авторитету.

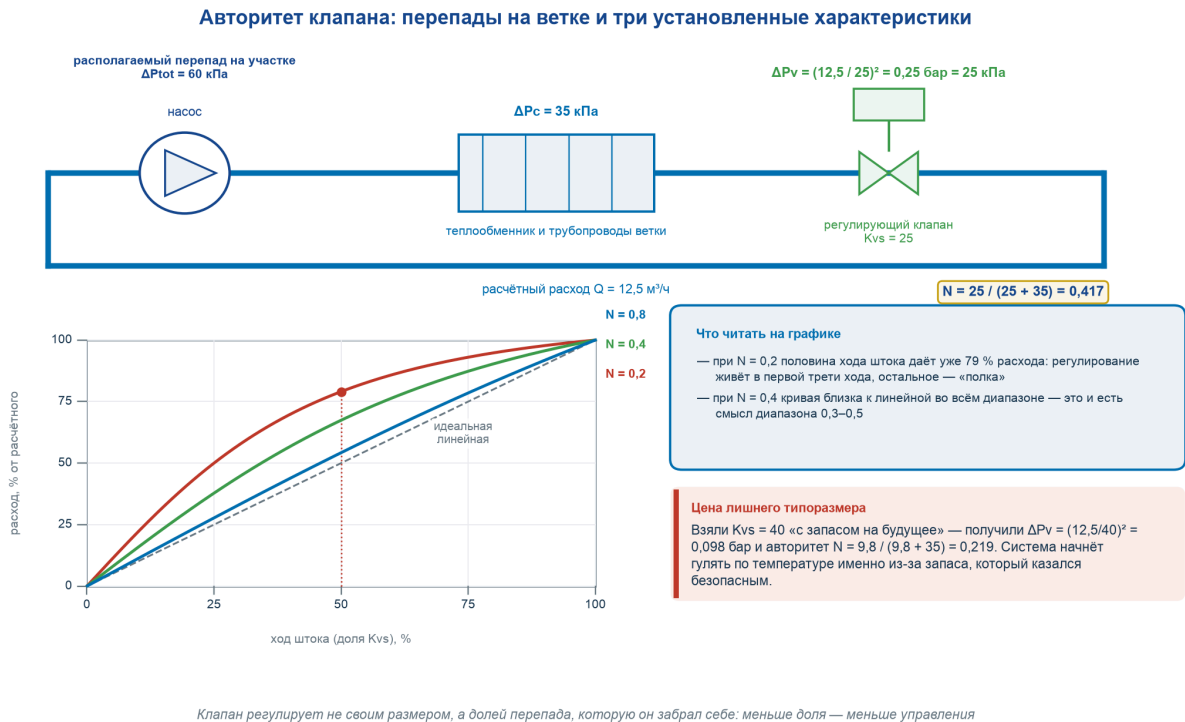
Авторитет клапана (valve authority) — доля перепада, которую забирает полностью открытый клапан: $N = \Delta P_v / (\Delta P_v + \Delta P_c)$, где ΔP_c — перепад на остальном участке (теплообменник, трубы). Рекомендуемый диапазон — **0,3–0,5**. Пропускная способность для воды: $K_v = Q / \sqrt{\Delta P}$ (м³/ч, бар) по методике IEC 60534-2-1.

Пример. Ветка теплообменника: $Q = 12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_c = 0,35 \text{ бар}$.

1. Целевой $N = 0,4$: $\Delta P_v = 0,4 \cdot 0,35 / 0,6 = \mathbf{0,233 \text{ бар}}$. 2. $K_v = 12,5 / \sqrt{0,233} = \mathbf{25,9}$; по ряду берём $K_{vs} = 25$. 3. Проверка: $\Delta P_v = (12,5 / 25)^2 = 0,25 \text{ бар}$, $N = 25 / (25 + 35) = \mathbf{0,417}$ — в диапазоне. 4. Если взять $K_{vs} = 40$ «с запасом»: $\Delta P_v = 0,098 \text{ бар}$, $N = \mathbf{0,219}$ — клапан работает в первой трети хода, температура «гуляет».

Итог: $K_{vs} 25$, авторитет $0,42$.

Рисунок 11 Авторитет клапана: перепады на ветке и установленная характеристика при $N = 0,2; 0,4; 0,8$



При большом перепаде на клапане и горячей воде проверяют риск кавитации по данным изготовителя клапана; авторитет и кавитацию считают вместе.

4.7. Приводы и безопасные положения

Аналоговый привод (0–10 В или 4–20 мА) — для точного регулирования. Трёхпозиционный (сигналы «открыть» и «закрыть») дешевле и грубее; при потере питания остаётся на месте. Привод с возвратной пружиной (spring return) при потере питания сам уводит клапан в заданное **безопасное положение** (failsafe position). «Безопасное» относится к конкретному узлу:

Таблица 9 Положение привода при потере питания

Узел	Положение	Почему
Трёхходовой байпас градирни зимой	Полный байпас, вода мимо оросителя	Ороситель и поддон не замерзают при остановке насоса или вентилятора
Клапан подпитки	Закрыт	Нет перелива при потере сигнала уровня
Клапан охлаждения на воздухоохладителе	Закрыт	Нет переохлаждения и наледи при стоящем вентиляторе
Клапан калорифера догрева	Открыт	Калорифер не замерзает при минусе

Узел	Положение	Почему
Запорная арматура насосов без пружины	Остаётся на месте	Функция коммутационная, а не защитная

Положение каждого привода записывают в ТЗ и в спецификации щита отдельной графой. Защита от замерзания не может держаться только на программе: нужны привод с пружиной и независимый термостат с прямым воздействием на аварийную цепь.

4.8. Частотные преобразователи коротко

Частотный преобразователь даёт экономию на насосах и вентиляторах только там, где расход действительно меняется: мощность падает пропорционально кубу оборотов, на 80 % оборотов насос берёт 51 % мощности. В проекте важны три ограничения. Минимальная частота насоса — по паспорту насоса, при его отсутствии не ниже 30 % номинала (15 Гц). Вентилятор градирни зимой не опускают ниже 40–50 % оборотов; дальше работают циклом и байпасом. Расход через испаритель не опускают ниже минимума машины — типично 40–50 % номинала. Питание, гармоники, длина моторного кабеля и байпас преобразователя — раздел 5.

4.9. Сводная таблица

Таблица 10 Что измеряем, что выбрать, где ошибаются

Что измеряем	Что выбрать	Где ошибаются
Температура воды	Pt1000 или Pt100 по трём проводам; класс А для расчёта мощности	Короткая гильза, нет пасты, врезка сразу после смешения или отвода
Температура гликоля ниже 0 °С	Проволочный элемент класса А или АА	Плёночный АА, не нормированный ниже 0 °С
Давление воды	4–20 мА, рабочая точка в 30–70 % шкалы	Шкала «с запасом», отбор сверху трубы
Перепад на фильтре и аппарате	Датчик перепада со статикой не ниже давления контура	Нет нижнего порога; разные высоты отборов
Расход	Электромагнитный, 5 D / 3 D или 10 D / 5 D	Нет прямого участка, клапан до прибора, прибор на всасе насоса
Уровень	Зонд в успокоительной трубе + отдельный аварийный сигнализатор	Одна точка на регулирование и защиту
Проток через испаритель	Реле протока в цепь безопасности машины	Реле через шину или SCADA, шунт на ПНР
Регулирующий клапан	Kvs по авторитету 0,3–0,5	Kvs «с запасом»
Привод клапана	С пружиной там, где важно положение при обесточивании	Без пружины на байпасе градирни и подпитке

Чек-лист раздела 4: датчики и приводы

- ☐ Аналоговые сигналы длиннее 10–50 м — только 4–20 мА; трассы отдельные.
- ☐ Под каждую температуру — гильза нужной глубины в ядре потока, с пастой и изоляцией.
- ☐ Под каждый расходомер на схеме есть прямой участок нужной длины, клапан — после прибора.
- ☐ Реле протока — в цепи безопасности, задержки пуска и останова заданы.

Правило прохода: прибор без посадочного места на трубе и без строки в перечне точек в проекте не существует — его не поставят ни на монтаже, ни после пуска.

5. Электропитание и щит

Половину остановов холодильной станции вызывает не машина, а сеть: провал напряжения, перекос фаз, перепутанное чередование после ремонта в распределительном устройстве.

5.1. Категория надёжности: слоями, а не одной строкой

Категории электроснабжения заданы ПУЭ, 7-е издание, глава 1.2, пп. 1.2.17–1.2.21:

- **I категория** — два независимых взаимно резервирующих источника, перерыв только на время автоматического ввода резерва;
- **особая группа I категории** — то, что обеспечивает безаварийный останов; нужен третий независимый источник (дизель-генератор, ИБП, отдельная линия);
- **II категория** — два источника, перерыв на время включения резерва дежурным персоналом;
- **III категория** — один источник, перерыв на ремонт не более суток.

Категорию имеет потребитель холода, а внутри станции её раскладывают по слоям.

Таблица 11 Категория надёжности по слоям холодильной станции

Слой станции	Типовая категория	Почему
Контроллер, панель, цепи управления, сигнализация	Особая группа I	Сообщить о пропадании силы
Насосы контура критичного потребителя	I	Без циркуляции перегрев за минуты
Компрессоры чиллеров	I или II	Инерция здания — часы, технологии — минуты
Вентиляторы градирни, сухого охладителя	II	Короткий останов контур переживает
Обогревы, освещение	II или III	Зимой обогрев поддона — I: замерзание — авария

Строке «электроснабжение по I категории» в задании верить нельзя, пока её не подтвердила однолинейная схема. Три проверки: сколько вводных ячеек в РУ-0,4 кВ; есть ли секционный аппарат и управляется ли он автоматически; от скольких трансформаторов и питающих линий 6–10 кВ запитаны вводы. Два ввода от одного трансформатора — это два кабеля от одной точки отказа.

ВНИМАНИЕ

Категория — это требование и к программе. Если объект I категории, после ввода резерва станция обязана подняться сама. В задании на автоматику должны быть: энергонезависимое хранение уставок и режимов; самозапуск с задержкой и разнесением ступеней; положение каждого клапана при потере питания (failsafe position); правило квитирования — какие аварии сбрасываются сами, а какие ждут человека.

5.2. Вводы, АВР, ИБП и самозапуск

АВР (автоматический ввод резерва, automatic transfer switch) переключает нагрузку на резервный ввод при пропадании или недопустимом отклонении напряжения.

Таблица 12 Время переключения АВР

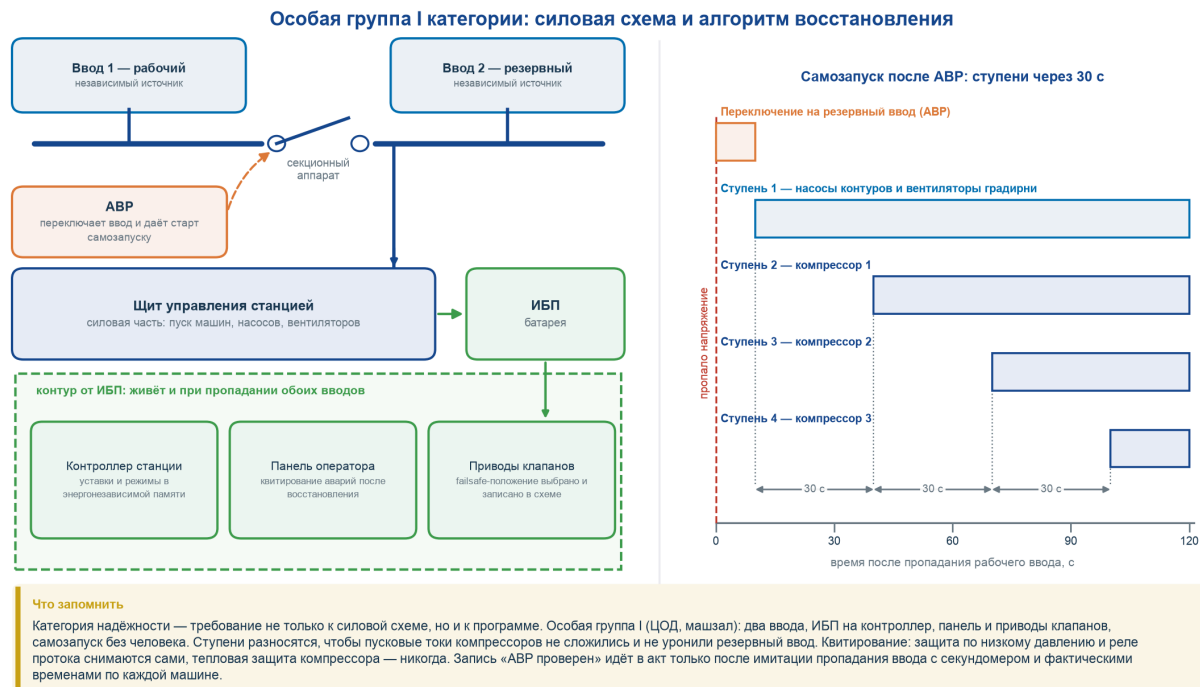
Исполнение АВР	Время переключения
Контакторный	0,2–0,5 с
На моторизованных автоматах	1–3 с
Тиристорный (статический)	4–10 мс, для критичных потребителей

Чего АВР не делает. Провал на 100–200 мс он часто не распознаёт, а контакторы отпадают за 10–50 мс: питание есть, станция стоит. Компрессор сразу после переключения запускать нельзя — винтовому нужно 3–5 минут на выравнивание давлений по паспорту. Контроллер за время переключения перезагружается и теряет состояние алгоритма.

Отсюда обязательный **ИБП** (источник бесперебойного питания) 1–3 кВА на контроллер, панель, модем диспетчеризации и приводы регулирующих клапанов. Автономия 15–30 минут покрывает переключение и пуск дизель-генератора, а станция при полной потере силы успевает сообщить диспетчеру «нет питания».

Самозапуск разносят во времени. Пример: три насоса по 30 кВт на прямом пуске, ввод 400 А. При одновременном пуске после АВР они дают $3 \times 6 \times 57 \text{ А} = 1026 \text{ А}$ на 2 секунды, и вводной автомат с мгновенной отсечкой $8 \times I_n$ отключается. Лечится не заменой автомата, а алгоритмом: насосы с интервалом 0, 15, 30 с, затем компрессоры ступенями. Интервалы записывают в задание на автоматику цифрами.

Рисунок 12 Особая группа I категории: ИБП держит контроллер, панель и приводы клапанов, самозапуск идёт ступенями, чтобы пусковые токи не сложились



Категория надёжности задаёт не только число вводов, но и то, как станция поднимается сама

Квитирование: защита по низкому давлению и реле протока при остановленном насосе снимаются сами, тепловая защита компрессора — только человеком.

ВНИМАНИЕ

Самозапуск проверяют, а не обсуждают. На приёмке имитируют пропадание ввода и записывают фактические времена переключения и выхода на режим по каждой машине. Без этого протокола запись «ABP проверен» пустая.

5.3. Однолинейная схема станции и ток ввода

Однолинейная схема станции показывает вводы, секции шин, секционный аппарат с АВР и отходящие линии на чиллеры, насосы, вентиляторы и отдельной линией — на ИБП цепей управления.

Расчётная мощность — установленная, умноженная на коэффициент спроса K_c , посчитанный по потребителям.

Таблица 13 Расчётная мощность станции: пример

Потребитель	Кол-во	Руст, кВт	K_c	Ррасч, кВт
Чиллер с винтовым компрессором, 110 кВт	2	220	0,90	198
Насосы испарительного контура, 22 кВт	3 (2 раб. + 1 рез.)	66	0,67	44
Насосы конденсаторного контура, 15 кВт	3 (2 раб. + 1 рез.)	45	0,67	30
Вентиляторы градирни, 7,5 кВт	6	45	0,70	31,5
Обогревы, освещение, щит, КИП	—	17	0,60	10
Итого		393	0,80	313,5

Ток ввода $I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi)$:

1. При $\cos \varphi = 0,82$: $313\,500 / (1,732 \cdot 400 \cdot 0,82) = 552 \text{ А}$. 2. После компенсации до $\cos \varphi = 0,95$: $313\,500 / (1,732 \cdot 400 \cdot 0,95) = 476 \text{ А}$. 3. Вводной аппарат уходит с 630 А на 500 А, кабель — на ступень вниз.

ВАЖНО

Не складывайте холод с электричеством. Чиллер 350 кВт холода потребляет около 110 кВт электроэнергии. Сумма «киловатт холода» в опросном листе превышает ввод втрое.

Компенсация. Для точки присоединения 0,4 кВ предельный $\tan \varphi = 0,35$ (приказ Минэнерго России от 23.06.2015 № 380). На станции с частотниками установку компенсации берут только с антирезонансными дросселями (расстройка 7 % или 14 %), иначе батарея резонирует на 5-й или 7-й гармонике.

Реле контроля фаз на вводе щита контролирует обрыв, слипание и чередование фаз, перекос и отклонение напряжения; его контакт заводят в цепь разрешения работы. Спиральный компрессор при обратном вращении разрушается за минуты, вентилятор градирни гонит воздух в обратную сторону без всякой аварии на панели. Если у чиллера свой ввод, у него должно быть своё реле.

5.4. Пусковые токи и потеря напряжения в кабеле

Таблица 14 Способы пуска двигателя

Параметр	Прямой пуск	Звезда-треугольник	УПП	ЧРП
Кратность пускового тока	6–8 I _{ном}	2–3 I _{ном}	2–4 I _{ном}	1,0–1,5 I _{ном}
Пусковой момент	150–250 %	33 % от прямого	25–50 % от прямого	100–150 %
Гармоники в сети	нет	нет	только на разгоне	постоянно, THDi 30–100 %
Регулирование расхода	нет	нет	нет	да

УПП — устройство плавного пуска (soft starter), ЧРП — частотно-регулируемый привод (variable frequency drive). Выбор:

- **прямой пуск** — двигатели примерно до 15–22 кВт при мощном вводе;
- **УПП** — насосы постоянного расхода 30–160 кВт, особенно при питании от дизель-генератора;
- **ЧРП** — когда расход или обороты реально меняются.

Насос 22 кВт: I_{ном} = 22 000 / (1,732 · 400 · 0,85 · 0,90) = 41,5 А; прямой пуск — 6 · 41,5 = **250 А**.

Рисунок 13 Один насос 22 кВт при трёх способах пуска: разница в пиковом токе шестикратная

Один насос 22 кВт при трёх способах пуска: разница в пике шестикратная



Три насоса по 30 кВт при самозапуске после АВР дают 1026 А на две секунды — лечится не автоматом, а разносом пусков в алгоритме: 0, 15, 30 с

Кабель выбирают по нагреву (ПУЭ, глава 1.3), по потере напряжения и по стойкости к току КЗ. На длинных линиях сечение диктует потеря напряжения.

$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)$; r_0 меди при 70 °C = 0,0175 · 1000 / S · 1,2 Ом/км; x_0 = 0,07–0,09 Ом/км.

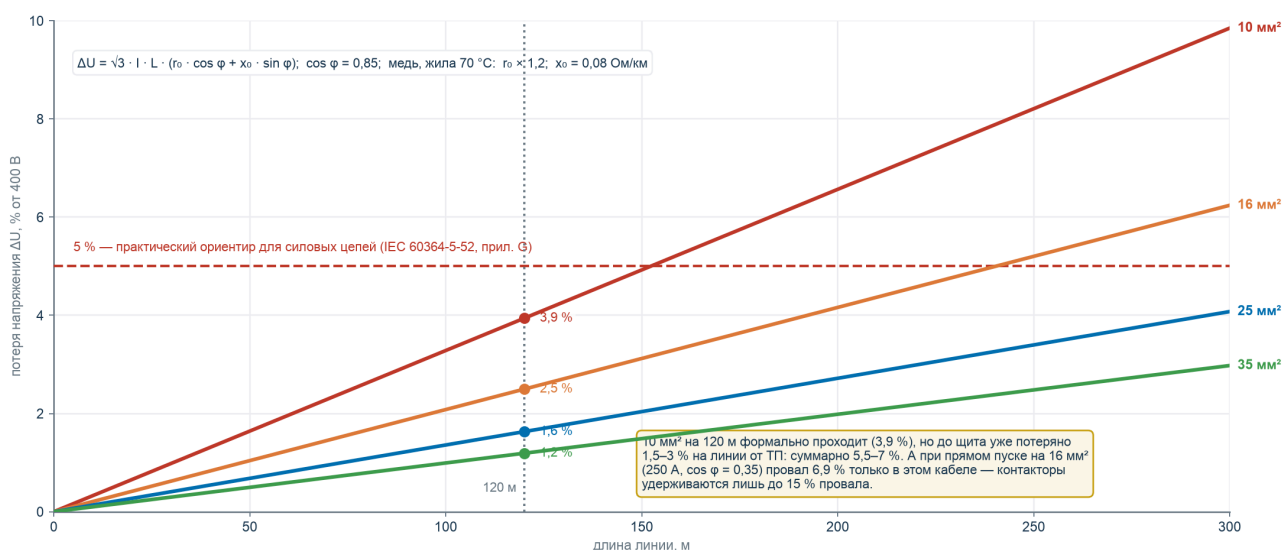
Пример: насос 22 кВт, 41,5 А, 120 м, $\cos \varphi$ = 0,85.

1. Сечение 10 мм²: $r_0 = 2,10 \text{ Ом/км}$, $\Delta U = 1,732 \cdot 41,5 \cdot 0,12 \cdot (2,10 \cdot 0,85 + 0,08 \cdot 0,527) = 15,8 \text{ В} = 3,9 \%$. 2. Сечение 16 мм²: $r_0 = 1,31 \text{ Ом/км}$, $\Delta U = 10,0 \text{ В} = 2,5 \%$. 3. На линии от ТП до щита уже потеряно 1,5–3 %: с 10 мм² сумма 5,5–7 % при ориентире не более 5 % (IEC 60364-5-52, приложение G). Берём 16 мм². 4. Проверка пуска на 16 мм²: 250 А, $\cos \varphi = 0,35$ — $\Delta U = 27,7 \text{ В} = 6,9 \%$ только в этом кабеле.

С провалом на трансформаторе и вводе сумма легко доходит до 12–15 %, а катушки контакторов по IEC 60947-4-1 гарантированно держат только до 85 % номинала.

Рисунок 14 На линии длиннее 100 м сечение диктует не нагрев, а потеря напряжения

Насос 22 кВт, ток 41,5 А: на длине свыше 100 м сечение диктует не нагрев, а потеря напряжения



Множитель 1,2 на нагрев жилы до 70 °C пропускают чаще всего — и ошибаются на 20 % в свою пользу

5.5. Частотные преобразователи и ЭМС

Токи утечки и УЗО. ЭМС-фильтр преобразователя даёт утечку от единиц до десятков миллиампер (у больших приводов с фильтром С1 — 100–300 мА), плюс высокочастотные токи через ёмкость экрана и обмоток. При пробое в звене постоянного тока утечка становится гладкой постоянной, и УЗО типов АС и А перестают работать. Решение:

- на группу приводов — **УЗО типа В** (IEC 62423), селективное (S), 300 мА;
- УЗО 30 мА типа А — только на розетки обслуживания и освещение щита;
- ЭМС-фильтр ради «лечения» УЗО в сети TN не отключать: привод выйдет за требования IEC 61800-3, и по объекту поплывут аналоговые сигналы.

Экраны. Экран моторного кабеля от частотника заземляют **с двух сторон** круговым контактом 360° через ЭМС-ввод: его задача — вернуть высокочастотный ток в преобразователь. Экран аналоговой линии (4–20 мА, Pt100) заземляют **с одной стороны**, со стороны щита. Силовые и сигнальные трассы разносят на 200–300 мм и пересекают под прямым углом.

Отражённая волна. На длинном моторном кабеле импульс отражается от клемм двигателя, и пик при звене 540–560 В доходит до 1000–1100 В. Без защиты ориентир — экранированный кабель до 30–50 м, неэкранированный до 100 м, точнее — по руководству на привод.

Таблица 15 Защита двигателя на длинном моторном кабеле

Решение	Что делает	Длина кабеля, ориентир
Выходной реактор, 3 % Z	Немного снижает крутизну фронта, ограничивает ток КЗ кабеля	до ~150 м
Фильтр dU/dt	Крутизна фронта ниже порога частичных разрядов (~500 В/мкс)	100–300 м
Синус-фильтр LC	Почти синусоида на клеммах двигателя	от 300 м и для двигателей без инверторной изоляции

Инверторное исполнение двигателя по IEC 60034-25 расчёт длины не отменяет.

Подшипниковые токи и гармоники. Синфазное напряжение инвертора стекает с вала через подшипник и выжигает рифление дорожки; защита — экранированный симметричный кабель, кольцо заземления вала, на крупных двигателях ещё и изолированный подшипник с неприводной стороны. Шестипульсный привод без реактора даёт THDi до 80–100 %, входной реактор 2–5 % снижает его до 25–35 %. Если нелинейная нагрузка превышает примерно 25–30 % мощности трансформатора, нужен групповой фильтр или активный выпрямитель (AFE).

5.6. Щит станции: состав и формы разделения

В щите станции — вводной аппарат с запирающим в отключённом положении, реле контроля фаз и ИБП; силовые цепи (автоматы, контакторы, УПП, частотники); цепи управления 24 В с блоком питания с запасом не менее 30 % по току; контроллер в отдельной зоне с промежуточными реле; панель оператора на двери; клеммники, разделённые на силовые, 24 В, аналоговые и дискретные.

Резервы в спецификации: 20 % точек контроллера, но не меньше двух каждого типа; 20 % места на DIN-рейках одним участком; 20 % клемм, но не меньше 10 на группу; 20 % кабельных вводов. Тепловой расчёт — на щит с резервом.

Форма разделения (form of separation) по IEC 61439-2 отвечает на один вопрос: можно ли обслуживать один контур, не отключая соседние.

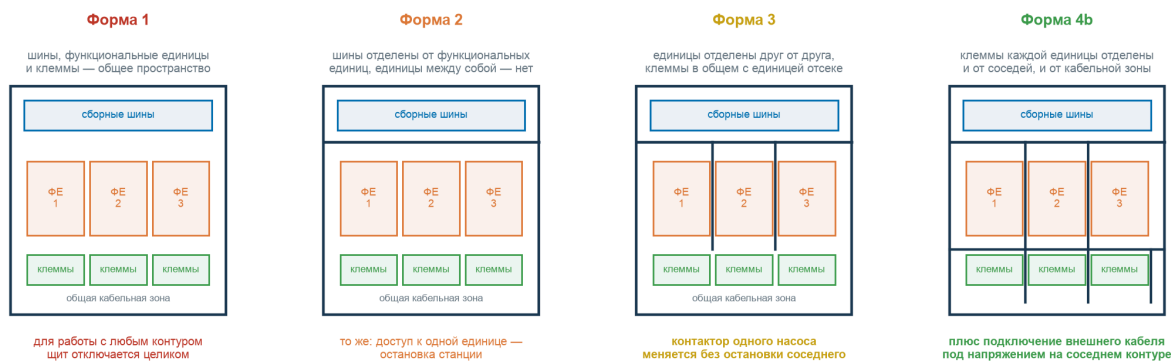
Таблица 16 Формы разделения по IEC 61439-2

Форма	Что разделено	Что это даёт
1	Ничего	Для работы с любым контуром щит отключают целиком
2	Шины отделены от функциональных единиц	То же: доступ к одной единице — остановка станции
3	Плюс единицы отделены друг от друга	Контактор одного насоса меняют без остановки соседнего
4	Плюс разделены выходные клеммы каждой единицы	Подключение кабеля при работающем соседнем контуре

Подкатегория **b** у форм 2–4 означает, что клеммы отделены и от общей кабельной зоны. Для непрерывных производств запрашивают форму не ниже **3b**, где простой дешевле — достаточно формы 2. В редакции IEC 61439-1:2020 при форме выше первой части отсека, остающиеся под напряжением при отключённом блоке, защищают не ниже IPXXB. Лишняя форма увеличивает габариты и ухудшает конвекцию.

Рисунок 15 Четыре формы разделения по IEC 61439-2: от «отключаем всё» до замены контактора на работающей станции

Четыре формы разделения по IEC 61439-2: что это даёт при обслуживании



Как выбирать

Форма — это ответ на один вопрос: можно ли обслуживать один контур щита, не отключая соседние и не находясь рядом с открытыми шинами. Для непрерывных производств запрашивают не ниже 3b, там, где цена простая ниже, достаточно формы 2. Обратная сторона: перегородки занимают место и ограничивают конвекцию внутри отсеков, то есть форма 4 «на всякий случай» оплачивается и материалом, и дополнительной вентиляцией по тепловому расчёту.

Форму разделения выбирают не по красоте спецификации, а по тому, останавливается ли станция ради замены одного контактора

В паспорте щита объявляют **I_{cw}** (кратковременно выдерживаемый ток) или **I_{cs}** (условный ток КЗ) и **I_{pk}** (ударный ток): они, а не номинал вводного автомата, показывают, выдержит ли щит КЗ в этой точке сети.

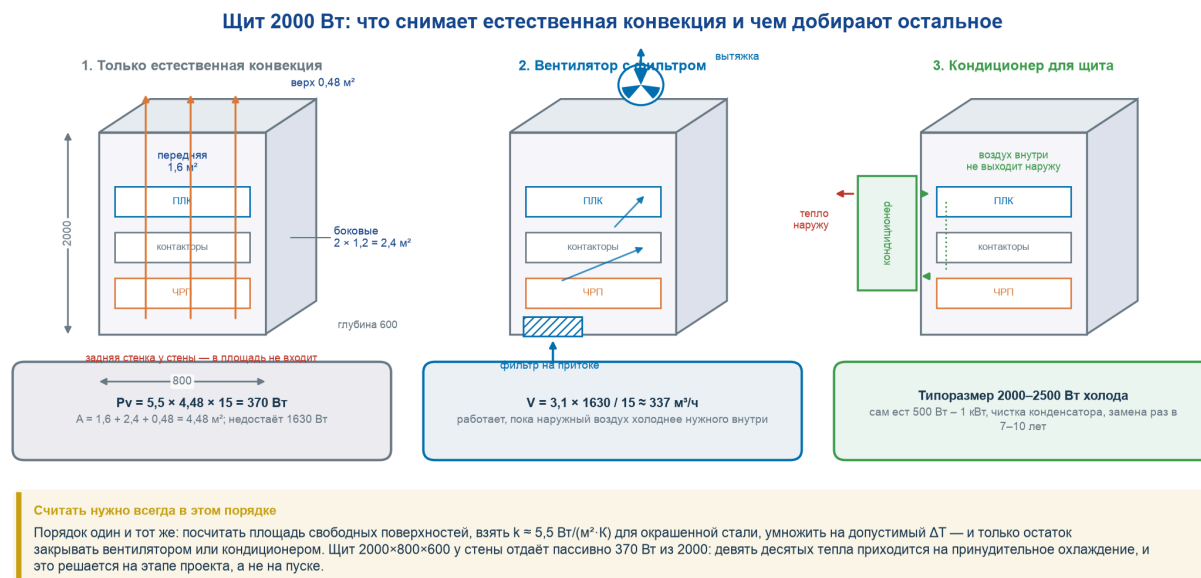
5.7. Тепловой режим, IP и климатика

Нормальные условия по IEC 61439-1: в помещении от -5 до $+40$ °C при среднесуточной не выше 35 °C, снаружи от -25 до $+40$ °C, высота до 2000 м. Иное согласуют отдельно.

Расчёт: щит $2000 \times 800 \times 600$ мм у стены, тепловыделение 2000 Вт, допустимый перегрев $\Delta T = 15$ K.

1. Свободные поверхности: передняя $1,6$ + боковые $2,4$ + верх $0,48 = 4,48$ м². 2. Естественная конвекция при $k \approx 5,5$ Вт/(м²·K) для окрашенной стали: $5,5 \cdot 4,48 \cdot 15 = 370$ Вт. 3. Недостаёт $2000 - 370 = 1630$ Вт. Вентилятор с фильтром: $V = 3,1 \cdot 1630 / 15 \approx 337$ м³/ч. 4. Вентилятор работает, пока воздух вокруг щита заметно холоднее нужного внутри. Если нет — кондиционер для щита на 2000–2500 Вт, рассчитанный на полное тепловыделение.

Рисунок 16 Щит 2000 Вт отдаёт пассивно 370 Вт, остальное снимает вентилятор или кондиционер



Пассивно щит отдаёт меньше, чем кажется: остальное нужно вынести вентилятором или холодом

Перегрев снижает номиналы: при 50 °С в плотном ряду автомат С16 длительно держит около 10,6 А, частотник теряет порядка 2 % тока на градус выше 40 °С.

Разумный IP: машинный зал — IP31–IP54, цех — IP54, мойка из шланга — IP65 в нержавеющей корпусе, улица и кровля — IP54–IP65 с козырьком, облив струёй высокого давления — IP66. IP по IEC 60529 и охлаждение выбирают вместе: чем выше IP, тем хуже щит отдаёт тепло, а от конденсата внутри IP не защищает.

5.8. Уличный щит и точка росы

Воздух в щите при 30 °С и влажности 70 % имеет точку росы около 24 °С, а стальная стенка ночью остывает до 10–15 °С: влага садится на клеммники и плату.

- **Нагреватель с термостатом**, уставка +5...+10 °С: задача — не дать щиту остыть до точки росы.
- **Гигростат** включает тот же нагреватель при 60–65 % относительной влажности.
- **Дышащий клапан** (breather) выравнивает давление и выпускает влагу.
- **Козырёк и двойная стенка** — против солнца, которое добавляет тёмному щиту сотни ватт.

Мощность обогрева — та же формула: для шкафа с $A = 6,08 \text{ м}^2$ при –25 °С снаружи и +5 °С внутри $5,5 \cdot 6,08 \cdot 30 = 1003 \text{ Вт}$. Утеплённый корпус с двойной стенкой — 200–400 Вт.

Рисунок 17 Обогрев уличного щита борется не с морозом, а с точкой росы



Обогрев уличного щита борется не с морозом, а с точкой росы

5.9. Размещение щита

Место под щит отстаивают на стадии компоновки:

- **место:** щит станции на 2–4 машины с частотниками — ряд шкафов шириной 2–4 м плюс зона обслуживания перед фронтом не менее 1,0–1,2 м (по действующей редакции ПУЭ для щитов до 1000 В);
- **тепло:** щит с частотниками рассеивает 2–4 % проходящей мощности — для приводов 200 кВт это 4–8 кВт, их снимает вентиляция щитовой по проекту ОВ;
- **среда:** без капли и воды при мойке полов; наружный щит — в тени или под навесом;
- **трассы:** отдельные лотки силы и сигналов, резерв не менее 30 % сечения лотка, закладные трубы между машзалом, щитовой и диспетчерской.

Чек-лист раздела 5: питание и щит

- ☐ Категория надёжности расписана по слоям станции и подтверждена однолинейной схемой.
- ☐ Цепи управления, панель и приводы клапанов питаются от ИБП с автономией 15–30 минут.
- ☐ В задании на автоматику записаны интервалы самозапуска и правило квитирования после АВР.
- ☐ Ток ввода посчитан через коэффициент спроса, на вводе есть реле контроля фаз.
- ☐ Длинные линии проверены по потере напряжения в работе и при пуске.
- ☐ Для приводов с ЧРП выбраны УЗО типа В, схема экранов и защита от отражённой волны по длине кабеля.
- ☐ Форма разделения, IP и охлаждение щита выбраны вместе, тепловой расчёт — на щит с резервом 20 %.

Правило прохода: нет однолинейной схемы с ИБП и теплового расчёта щита — электрическая часть станции не готова к выдаче заводу.

6. Логика управления станцией

Автоматика отдельных машин разобрана в ЭХ-АРМ003-RU (раздел 11), ЭХ-АРМ002-RU (раздел 9) и ЭХ-АРМ006-RU (раздел 10). Здесь — логика станции целиком: сколько машин работает, какая ведущая, какую уставку держит насос, как идут переходы между режимами. Всё это проектировщик задаёт цифрами.

6.1. Что регулируем и где стоит датчик

Уставка пишется с точкой измерения: «7,0 °C на подаче в общем коллекторе после смешения». «7 градусов» — это пожелание: на выходе машины, в коллекторе и у дальнего потребителя три разные температуры.

Подача или обратка. Рабочее правило: каскад (сколько машин работает) — **по обратке**, производительность работающей машины — **по подаче**. Обратка интегрирует нагрузку и даёт меньше пусков, подача точнее держит температуру для технологии.

ВНИМАНИЕ

Обратка при переменном расходе. Если расход упал вдвое, та же нагрузка даёт вдвое больший перепад: обратка прежняя, а подача уходит вниз до защиты от замерзания. На схемах с переменным расходом регулирование по обратке допустимо только с блокировкой по минимальной температуре подачи.

6.2. Зона нечувствительности и задержки

Зона нечувствительности (dead band) — интервал вокруг уставки, внутри которого автоматика не делает ничего. **Задержка** (staging delay) — время, в течение которого условие должно держаться непрерывно, прежде чем автоматика работает.

Нужны обе: зона отсекает шум по амплитуде, задержка — переходные процессы по времени. Зона должна быть шире суммарной погрешности канала: при погрешности $\pm 0,4$ К практический минимум $\pm 0,5$ К, рабочий диапазон $\pm 0,5 \dots \pm 1,5$ К.

Задержка ввода ступени больше одного оборота воды по контуру: $t = V / G \cdot 60$ мин. Контур 12 м³ при 180 м³/ч — 4 минуты, при 120 м³/ч — 6 минут. Короче — автоматика включит следующую машину раньше, чем предыдущая покажет результат.

Рисунок 18 Одни и те же данные при трёх настройках: зона убирает шум, задержка убирает переходные процессы, вместе — три пуска вместо двенадцати



Пуски режет не «правильный контроллер», а две цифры в его настройках

6.3. Каскад машин: ступени и время на ступень

Каскад (staging) решает, работать одной машиной, двумя или тремя.

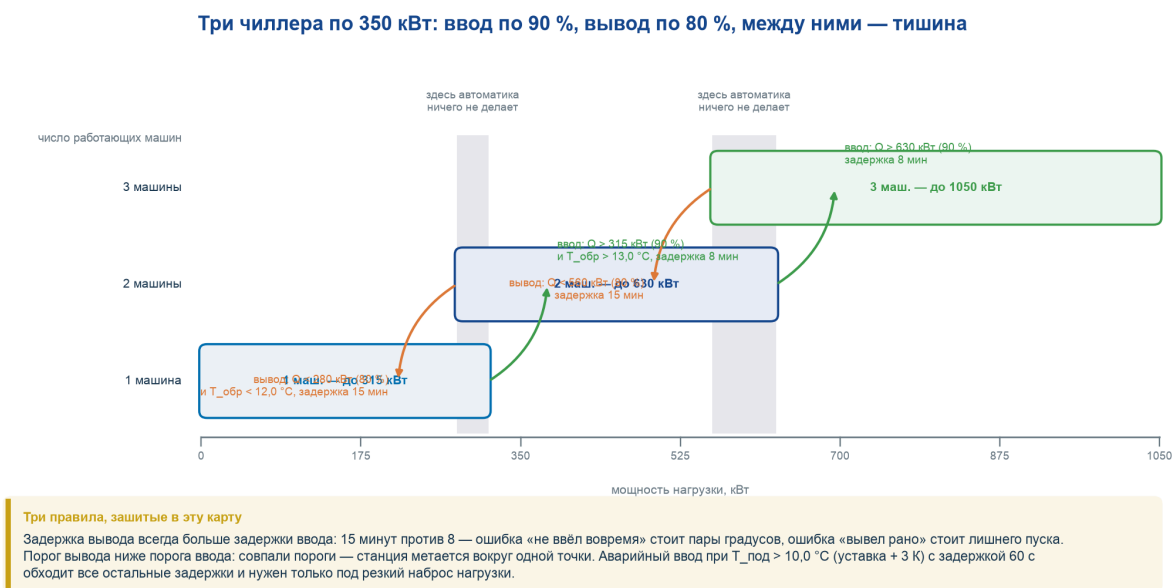
Таблица 17 Критерии ввода следующей машины

Критерий	Что нужно	Слабое место	Где применять
Температура	Один датчик	Запаздывает за нагрузкой	Комфорт, склады, большая инерция
Расчётная нагрузка $Q = 1,163 \cdot G \cdot \Delta T$	Расходомер и два точных датчика	Ошибка 0,5 К при перепаде 5 К — 10 % мощности	Технология, резкие набросы
Ток или нагрузка компрессора по шине	Связь с контроллером машины	Жарким днём ток растёт от конденсации, а не от нагрузки	Дополнительный критерий
Комбинированный	Всё перечисленное	Сложнее наладка	Промышленные станции

Три принципа, которые переносят в любой алгоритм:

1. Задержка вывода больше задержки ввода: «не ввёл вовремя» стоит пары градусов, «вывел рано» — лишнего пуска. 2. Порог вывода ниже порога ввода (80 % против 90 %) — гистерезис по нагрузке. Совпавшие пороги — бесконечный ввод-вывод вокруг одной точки. 3. Аварийный ввод обходит все задержки, но порог у него высокий — уставка плюс 3 К.

Рисунок 19 Три chillera по 350 кВт: ввод при 90 %, вывод при 80 %, в зоне перекрытия автоматика ничего не делает



Гистерезис по нагрузке — это не запас, а условие того, что ступень не будет дёргаться

6.4. Число пусков, таймеры и буферная ёмкость

В алгоритме три отдельных таймера: **минимальное время работы**, **минимальная пауза** и **«пуск — пуск»** (anti-recycle timer). Последний задаёт предел пусков: 15 минут — не больше 4 пусков в час.

Таблица 18 Ориентиры по пускам компрессоров

Тип компрессора	Пусков в час	«Пуск — пуск»	Мин. время работы
Спиральный, малой мощности	10–12	5–6 мин	2–3 мин
Поршневой полугерметичный	6–10	6–10 мин	3–5 мин
Винтовой	4–6	10–15 мин	5–10 мин
Центробежный	2–4	20–30 мин	15–30 мин

Ориентиры для проверки алгоритма; в проект выносят цифры из руководства на конкретную машину.

ВНИМАНИЕ

Двойной таймер. Таймер «пуск — пуск» есть и в машине, и в контроллере станции. Не видя, что машина ещё отсчитывает свой, станция считает её отказавшей и запускает следующую. Поэтому статус «готов к пуску» читают с машины по шине.

Минимальный объём контура. Таймеры не помогут, если воды мало и малая ступень сбивает температуру за минуту:

$$V_{\text{мин}} = Q_{\text{ступени}} \cdot t_{\text{мин.работы}} \cdot 60 / (4,19 \cdot \Delta T_{\text{доп}}), \text{ л}$$

Чиллер 350 кВт, четыре ступени по 25 %, малая ступень 87,5 кВт, минимальная работа 5 минут, допустимое изменение 2 К: $87,5 \cdot 5 \cdot 60 / (4,19 \cdot 2) = 3132 \text{ л} \approx 3,1 \text{ м}^3$. Короткая трасса 40 м DN125 с

воздухоохладителями даёт 0,8 м³ — нужен **буферный бак не менее 2,3 м³**. Расчёт бака — в ЭХ-АРМ003-RU, раздел 4.5.

6.5. Ротация по наработке и резерв

Ведущий/ведомый (lead/lag) — кто включается первым, кто вторым, кто в резерве. Алгоритм ротации:

1. Моточасы считаются только при подтверждённой работе — по блок-контакту или статусу машины, а не по команде. 2. Раз в сутки в заданное время или при полной остановке станции машины сортируются по наработке. 3. Ведущей становится машина с наименьшей наработкой. 4. Роли меняются только у остановленных машин: смена на ходу — два лишних события. 5. Машина в аварийной блокировке или выведенная в ремонт из очереди исключается.

Таблица 19 Стратегия ротации по типу объекта

Объект	Стратегия
Непрерывное производство, ЦОД	Ротация по наработке с допуском $\pm 100\text{--}200$ ч
Сезонная нагрузка (комфорт, склад)	Фиксированная смена раз в неделю или месяц
Разные по мощности или возрасту машины	Без ротации, порядок ввода по эффективности
Резерв под критичный процесс	Без ротации, пробный пуск 1–2 раза в месяц на 30–60 минут

Строка «предусмотреть ротацию» без периода, допуска и правила для аварийных машин — не требование.

Отказ машины. Типовая практика — не более 3 попыток автоматического сброса за 60 минут, затем блокировка с ручным сбросом. Для непрерывного производства резерв вводится сразу, для комфорта — после исчерпания попыток.

6.6. Первичный–вторичный контур, переменный расход и низкий перепад

Гидравлическая схема выбирается до алгоритма и задаёт критерий каскада. Сами схемы описаны в ЭХ-АРМ003-RU, разделы 5.3 и 5.5.

- **Первичный–вторичный** (primary-secondary): постоянный расход через испаритель, переменный — к потребителям, между контурами переключатель (decoupler). Критерий каскада — **поток в переключателе**: из обратки в подачу дольше задержки — машин не хватает; из подачи в обратку — лишняя. Нужен расходомер на переключателе.
- **Переменный первичный расход** (VPF): один комплект насосов с частотниками, отсечной клапан на каждой машине, байпас с регулирующим клапаном. Критерий — расчётная нагрузка при обязательном контроле минимального расхода. Ориентиры: расход через испаритель 40–50 % ... 120–130 % номинала, изменение не быстрее 10 % номинала в минуту, ход байпасного клапана 30–60 с.

Две гидравлические схемы — два разных критерия ввода следующей машины

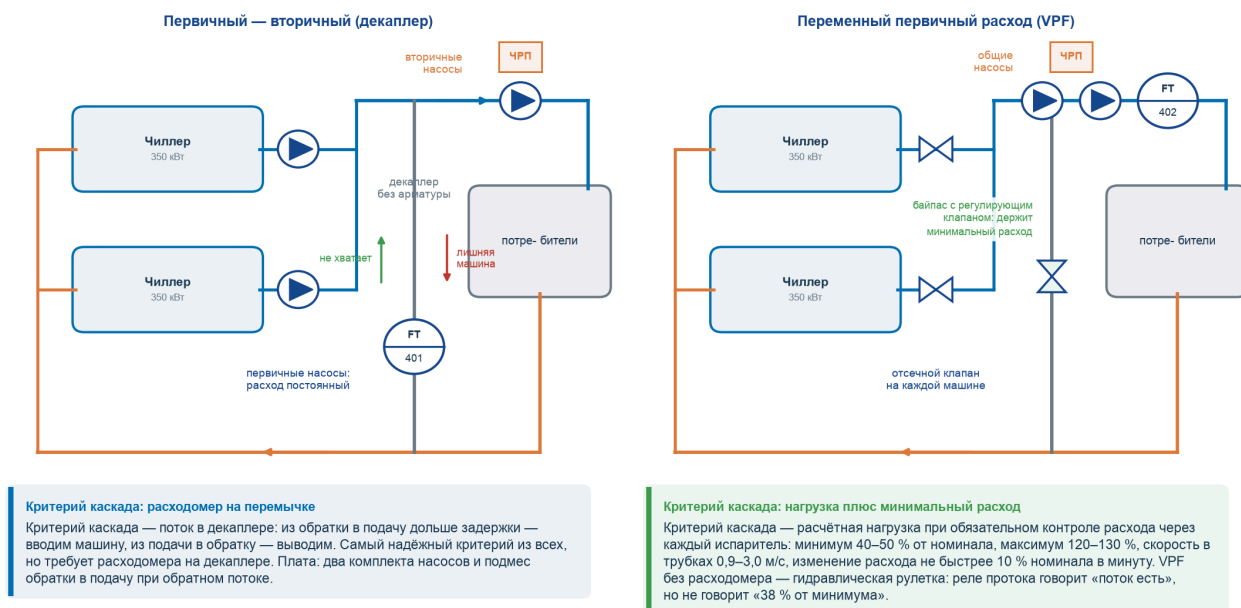


Схема выбирается до алгоритма: она и решает, по какому числу вводится следующая машина

ВАЖНО

VPF без расходомера — гидравлическая рулетка. Реле протока говорит «поток есть», но не говорит «поток 38 % от минимума».

Синдром низкого перепада (low delta-T syndrome): проект 12/7 °C, на объекте 10/7 °C. Для той же мощности расход растёт в $5/3 = 1,67$ раза, мощность насосов — в $1,67^3 = 4,6$ раза. Насосы упрутся в предел, чиллер 350 кВт при 3 K отдаёт не больше 210 кВт, автоматика вводит лишние машины, и все работают на 40–50 % загрузки.

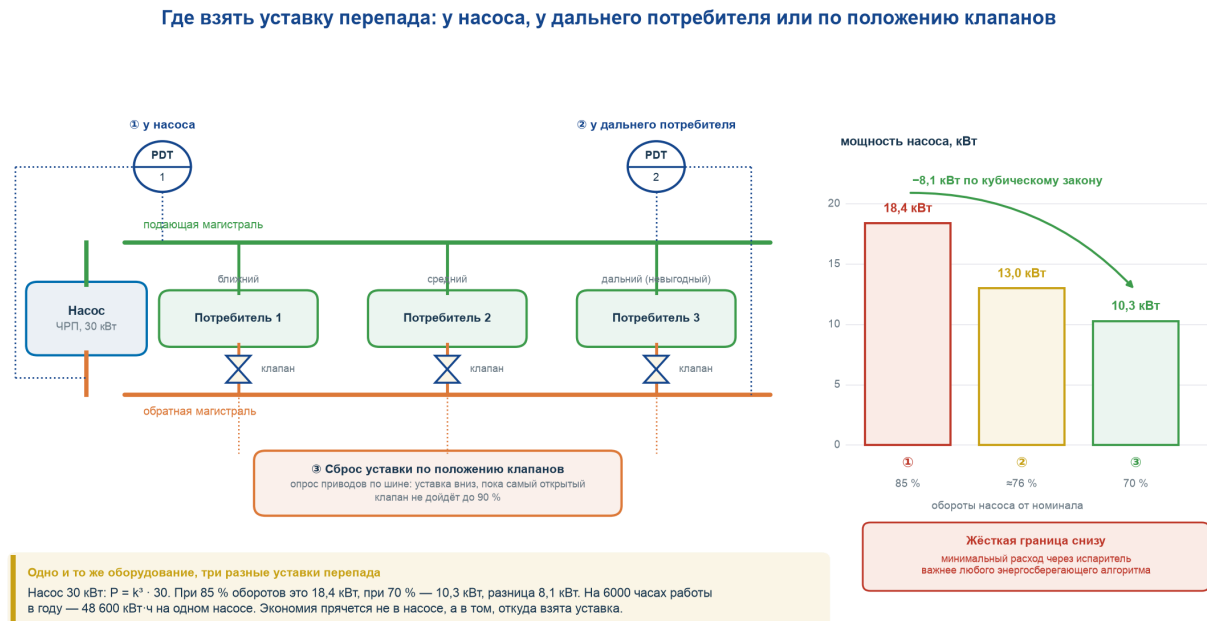
Причины в порядке проверки: трёхходовые клапаны у потребителей, открытые перемычки, грязные теплообменники, клапаны с завышенным Kvs, вентили, открытые эксплуатацией. Видно по архиву за двое-трое суток: провал на частичной нагрузке — клапаны и байпасы, провал утром — теплообменники. Отсюда в проекте двухходовые клапаны и измерение расхода и температур станции. Подробно — ЭХ-АРМ003-RU, раздел 5.8.

6.7. Уставка перепада насоса и сброс уставок

Вторичный насос с частотником держит перепад давления по датчику. Экономия зависит от того, где датчик и какая уставка.

1. **Датчик у насоса, уставка постоянная** — насос держит расчётный напор всегда. 2. **Датчик у дальнего (гидравлически невыгодного) потребителя** — уставка ниже, частота опускается сильнее. 3. **Сброс уставки по положению клапанов (differential pressure reset)** — контроллер снижает уставку, пока самый открытый клапан не дойдёт до 90 %.

Насос 30 кВт: при 85 % оборотов $0,85^3 \cdot 30 = 18,4$ кВт, при 70 % — $0,70^3 \cdot 30 = 10,3$ кВт. Разница 8,1 кВт, за 6000 часов — 48 600 кВт·ч в год на одном насосе.



Сброс уставки холодной воды (setpoint reset): $t \text{ уставки} = t \text{ баз} + K \cdot (1 - Q \text{ тек} / Q \text{ расч})$. База 7 °C, допустимое повышение 3 K, нагрузка 40 %: $7 + 3 \cdot 0,6 = 8,8 \text{ °C}$. Каждый градус повышения кипения даёт около 2–3 % экономии компрессора. Лучший вариант — сброс по положению самого открытого клапана, как и у насоса.

ВНИМАНИЕ

Нижняя граница и осушение. Сброс перепада ограничен снизу минимальным расходом через испаритель — эта блокировка важнее любой экономии. Сброс температуры вверх запрещён для потребителей, которые осушают воздух: при подаче 10 °C вместо 7 °C влажность в помещении поедет вверх.

6.8. Свободное охлаждение: переходы между режимами

Схемы, пороги переключения и часы фрикулинга — в ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры NCT», раздел 7. Для автоматики станции важно, как идут переходы.

- **Решение принимают по воде**, а не по уличному датчику: датчик на фасаде под солнцем или у выброса вентиляции врёт на 3–8 K.
- **Вход:** вода после градирни ниже обратки на 1,5–2 K (частичный режим) или ниже уставки подачи на 1 K (полный), непрерывно 10–15 минут, без аварий градирни, теплообменника и насосов.
- **Выход:** вода после градирни выше обратки минус 0,5 K. Задержка выхода 20–30 минут — всегда больше задержки входа; гистерезис не меньше 1,5–2 K.
- **Переход по шагам:** насос контура градирни с подтверждением протока → вентиляторы на регулятор → клапан теплообменника открывается за 3–5 минут → чиллер разгружается своим регулятором → вывод чиллера, когда подача 10 минут ниже уставки.
- **Обратный переход:** сначала чиллер выходит на режим, потом закрывается клапан теплообменника — иначе объект 10–15 минут без холода.

6.9. Защиты и блокировки

Всё, от чего зависит безопасность, — проводом. Реле протока, блок-контакт насоса, разрешение на пуск и аварийный останов заводят в цепь безопасности машины напрямую, не через контроллер станции и не через шину. Защита, существующая только в программе, исчезает вместе с зависшим контроллером или перезагружающимся шлюзом.

В задании на автоматику аварии делят на две группы: **останавливающие** (машина выводится немедленно) и **сигнализирующие** (работа продолжается, сигнал в диспетчеризацию). Для каждой — уставка, задержка и правило сброса. Отдельно:

- блокировка по минимальному расходу через испаритель имеет приоритет над любым энерго-сберегающим алгоритмом;
- для каждого исполнительного механизма записано положение при потере питания: открыт, закрыт или на месте;
- для каждого датчика — что подставляет алгоритм при его отказе;
- уставки защит в карте регистров для верхнего уровня — только на чтение (раздел 7.5).

6.10. Сквозной пример: последовательность операций станции 3 × 350 кВт

Последовательность операций (sequence of operation) — текст, по которому пишут программу и проводят испытания; каноническую форму задаёт ASHRAE Guideline 36. Костяк для станции: три чиллера по 350 кВт с водяным конденсатором, подача 7,0 °C, обратка 12,0 °C, расчётный расход 180 м³/ч, первичные насосы на каждой машине, вторичные насосы с частотниками, градирня с вентиляторами на частотниках.

1. Пуск станции. По команде пуска или при обратке выше 12,5 °C дольше 2 минут: насос конденсатора и первичный насос ведущей машины → подтверждение протока с выдержкой 5–15 с → разрешение машине. Вторичные насосы держат перепад у дальнего потребителя со сбросом по положению клапанов.

2. Ввод второй машины. Нагрузка выше 315 кВт (90 % от 350) и обратка выше 13,0 °C и первая машина отработала не меньше 10 минут — непрерывно 8 минут. Третья машина — то же при нагрузке выше 630 кВт.

3. Вывод. С трёх на две — нагрузка ниже 560 кВт (80 % от 700) и обратка ниже 12,0 °C дольше 15 минут; с двух на одну — ниже 280 кВт. Останов машины: разгрузка, остановка компрессора, вы-бег насосов по инструкции машины.

4. Аварийный ввод. Подача выше 10,0 °C (уставка + 3 K) дольше 60 с — ввод следующей машины без ожидания задержек.

5. Таймеры. «Пуск — пуск» и минимальная пауза — из руководства на машину (для винтовых ориентир 10–15 минут); контроллер станции читает статус «готов к пуску» по шине.

6. Ротация. Раз в сутки при остановленных машинах, по наработке с допуском ±100–200 ч; машина в блокировке из очереди исключена.

7. Отказ машины или насоса. До 3 попыток автосброса за 60 минут, затем блокировка и ввод резерва; резервный насос — без останова машины.

8. Градирня. Байпас градирни держит минимальную температуру воды на конденсатор по паспорту машины; вентиляторы — по регулятору температуры воды; уставка конденсации плавающая, но не ниже минимума производителя.

9. Пропадание и восстановление питания. Контроллер, панель и приводы клапанов на ИБП; после АВР — самозапуск ступенями через 30 с: насосы и вентиляторы, затем компрессоры по одному. Тепловая защита компрессора ждёт человека.

10. Потеря связи с диспетчеризацией. Работа по локальным уставкам, архив дописывается из буфера.

К тексту прикладывают таблицу уставок (значение, диапазон, кто имеет право менять) и программу функциональных испытаний — по пункту на каждый шаг.

Чек-лист раздела 6: логика станции

- ☐ Уставка записана с точкой измерения; каскад по обработке, машина по подаче.
- ☐ Зона нечувствительности шире погрешности канала, задержка ввода больше оборота контура.
- ☐ Пороги и задержки ввода и вывода каждой ступени заданы таблицей, вывод медленнее ввода.
- ☐ Объём контура проверен по малой ступени, при нехватке заложен буферный бак.
- ☐ Ротация описана с периодом, допуском и правилом для аварийных машин.
- ☐ Критерий каскада соответствует гидравлической схеме, минимальный расход контролируется расходомером.
- ☐ Защиты разделены на аппаратные и программные, для каждого механизма задано положение при потере питания.
- ☐ Последовательность операций написана текстом, к ней приложены уставки и программа испытаний.

Правило прохода: алгоритм, в котором задержки «уточняются при пусконаладке», не принимается — его придумает наладчик за пять минут до сдачи.

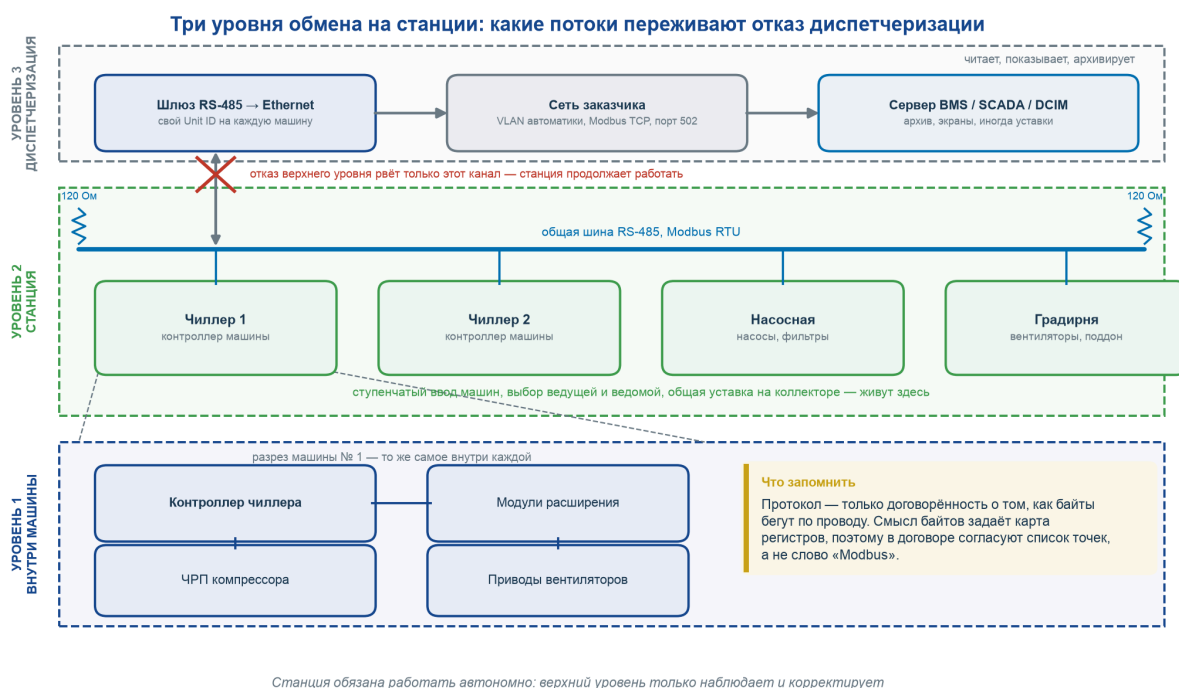
7. Протоколы и диспетчеризация

Протокол — только договорённость о том, как байты бегут по проводу. Смысл байтов задаёт карта регистров в Modbus и объектная модель в BACnet. Поэтому договариваются не о протоколе, а о списке точек: строка «поддерживаем Modbus» в предложении не значит ничего.

7.1. Три уровня обмена

- **Внутри машины** — контроллер чиллера, модули расширения, частотник компрессора, приводы вентиляторов. Зона производителя машины.
- **Станция** — контроллеры машин, насосной, градирни и Master-щит на общей шине. Здесь живут каскад, ротация и общая уставка. Этот уровень обязан работать, даже если верхний умер полностью.
- **Диспетчеризация** — BMS (система управления зданием), SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) или DCIM у дата-центров. Читает, показывает, архивирует, иногда пишет уставки. Процессом не управляет.

Рисунок 22 Три уровня обмена: отказ диспетчеризации рвёт только верхний канал, станция продолжает работать



7.2. Modbus RTU и Modbus TCP

Спецификации открыты: Modbus Application Protocol Specification V1.1b3 и Modbus over Serial Line Specification V1.02. Модель данных — четыре таблицы: coil (бит, чтение и запись), discrete input (бит, чтение), input register (16 бит, чтение), holding register (16 бит, чтение и запись). Производители холодильного оборудования чаще всего кладут всё в holding.

- **Кадр RTU:** адрес (1 байт) · функция (1) · данные (до 252) · CRC16 (2). Границы кадра — тишина 3,5 символа: при 9600 бит/с это 4,0 мс.
- **Кадр TCP:** заголовок MBAP из 7 байт (номер транзакции, идентификатор протокола, длина, Unit Identifier — адрес прибора за шлюзом), затем функция и данные; CRC нет, порт 502.

- **За одну транзакцию** читается не больше 125 регистров.
- **Время опроса** считают: 20 приборов на 9600 бит/с — около 1,5 с на полный цикл. Нужен опрос раз в секунду — 38 400 бит/с или два сегмента.

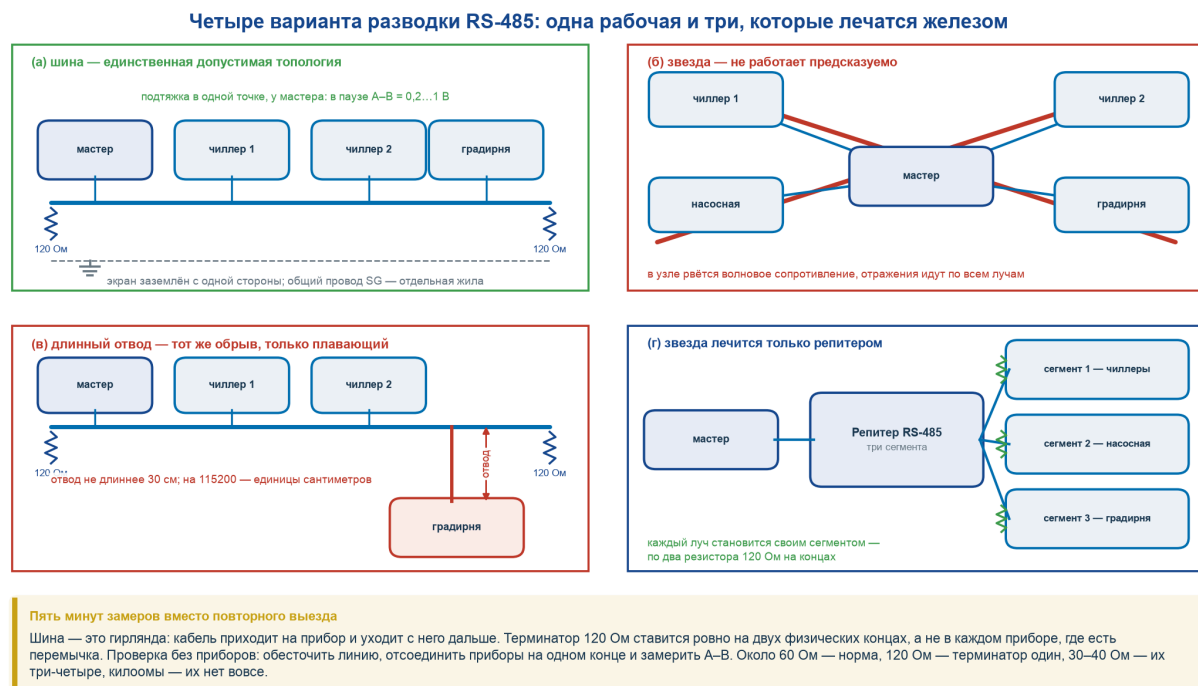
Порядок байт. 32-битное значение занимает два регистра, а протокол не говорит, в каком порядке их складывать: ABCD, CDAB, BADC или DCBA. Температура 25,3 °C при перепутанных словах превращается в $2,7 \cdot 10^{23}$. Второй источник ошибок — адресация: регистр 40001 в кадре едет как адрес 0. Оба параметра пишут в карту регистров явно, а порядок байт настраивают на стороне опрашивающей системы, не прошивкой прибора.

7.3. Линия RS-485

Modbus RTU и BACnet MS/TP идут по одной физике — RS-485 (TIA/EIA-485-A). Большинство обращений «связи нет» решаются здесь.

- **Кабель:** витая пара 120 Ом, А и В из одной пары, отдельная жила под общий провод (SG), экран фольга плюс оплётка.
- **Длина:** до 1200 м при 9600–38 400 бит/с; на 115 200 бит/с — 100–200 м. Для линии по территории разумный потолок — 38 400.
- **Топология:** только шина-гирлянда, отводы не длиннее 30 см. Звезда не работает предсказуемо и лечится только репитером.
- **Терминаторы:** 120 Ом ровно на двух физических концах. Проверка на обесточенной линии: между А и В около 60 Ом.
- **Подтяжка** в одной точке, обычно у мастера; в паузе между запросами А–В 0,2–1 В.
- **Экран** заземляют с одной стороны; экран — не общий провод.
- **Сегмент** — не больше 30 приборов; кабель связи — не в силовом лотке, разнос 200–300 мм от кабелей частотников.

Рисунок 23 Четыре варианта разводки RS-485: рабочая только гирлянда с двумя терминаторами



Звезда не «нежелательна» — она непредсказуема, и чинится она только активным оборудованием

7.4. BACnet

BACnet (ANSI/ASHRAE Standard 135-2024) — протокол со встроенной моделью данных: прибор состоит из объектов (Analog Input, Binary Output, Multi-state Value, Trend Log и др.) со стандартными свойствами и единицами. Отличия от Modbus, ради которых его требуют: массив приоритетов команд из 16 уровней, подписка на изменение значения (COV), аварии как события протокола, автообнаружение приборов.

- **MS/TP** — по RS-485, до 128 мастеров, на практике 38 400 или 76 800 бит/с.
- **BACnet/IP** — по Ethernet, порт UDP 47808; между подсетями нужен BBMD, иначе прибор пингуется, но не находится автопоиском.
- **Device Instance** уникален во всей сети объекта, диапазоны номеров заказчик выдаёт подрядчикам.
- **PICS** — документ о реализации протокола: до обещаний заказчику проверяют, поддержаны ли SubscribeCOV и запись на нужных объектах.

Шлюз Modbus → BACnet дешевле, но теряет COV, приоритеты записи и аварии как события. Это проговаривают на стадии задания, а не на пусконаладке. Требование «native BACnet, BTL listed» вносят в опросный лист до расчёта.

7.5. Карта регистров и перечень сигналов

Карту регистров (register map, points list) требуют до договора на интеграцию. В ней обязательны колонки:

Таблица 20 Обязательные колонки карты регистров

Колонка	Что ломается без неё
Адрес и начало адресации (с 0 или с 1)	Все величины уезжают на одну позицию
Тип таблицы	Не выбрать функцию чтения
Тип данных (int16, uint16, int32, float32, битовое слово)	–5 °C превращается в 65531
Размер и порядок (ABCD / CDAB / BADC / DCBA)	Гигантские числа на экране
Масштаб и единицы	Значение мимо в 10 раз, бары вместо килопаскалей
Диапазон и права (R или R/W)	Верхний уровень пишет недопустимое
Перечисления и битовая раскладка слова аварий с классом события	Загрязнённый фильтр горит красным, как авария
Параметры порта по умолчанию	Наладчик подбирает скорость и чётность наугад

Уставки защит — давление срабатывания, минимальная температура на выходе, задержки — отдаются наверх **только на чтение**.

Перечень сигналов (I/O list) строят по функциональной схеме: тип сигнала, диапазон, источник (свой датчик, шина машины, сухой контакт), участие в блокировке, вывод в диспетчеризацию, шаг архива. Методика подсчёта — в ЭХ-АРМ003-RU, раздел 11.4. Ориентир для станции из 3 машин, 8 насосов и 4 вентиляторов с резервом 20 %: 17 AI, 9 AO, 60 DI, 21 DO, всего 107 точек, плюс порт Modbus RTU на машины и порт в диспетчеризацию. Температуры испарителей машина отдаёт по шине, аналоговыми входами их не дублируют.

7.6. Интерфейс со смежными системами

Граница с системами заказчика проходит **по порту щита**. В задании записывают: протокол, физику линии, скорость, кто мастер, карту параметров (что отдаём, что принимаем как команду, что только как информацию), поведение при потере связи, кто выполняет интеграцию и поставляет шлюзы. По умолчанию Master-щит NCT отдаёт данные наверх по Modbus TCP; другой протокол указывают в опросном листе.

Сигналы, от которых зависит останов, — проводом, сухими контактами: сигнал от системы пожарной сигнализации (отдельный дискретный вход), разрешение работы от технологии заказчика, общая авария станции наружу. По шине — температуры, давления, состояния, наработка, коды аварий, уставки.

Что требовать от диспетчеризации:

- архив по ключевым точкам не меньше 12 месяцев, сырые значения с выгрузкой в CSV: 120 точек раз в минуту — около 757 Мбайт в год;
- журнал аварий с метками начала и конца до секунды, классами «авария / предупреждение / событие» и квити́рованием с именем;
- три роли доступа (оператор, инженер, администратор) и журнал изменений уставок;
- единый источник времени (NTP) — расхождение часов больше секунды ломает разбор последовательности событий;
- автономность: без связи станция работает по локальным уставкам, а после восстановления дописывает архив из буфера контроллера.

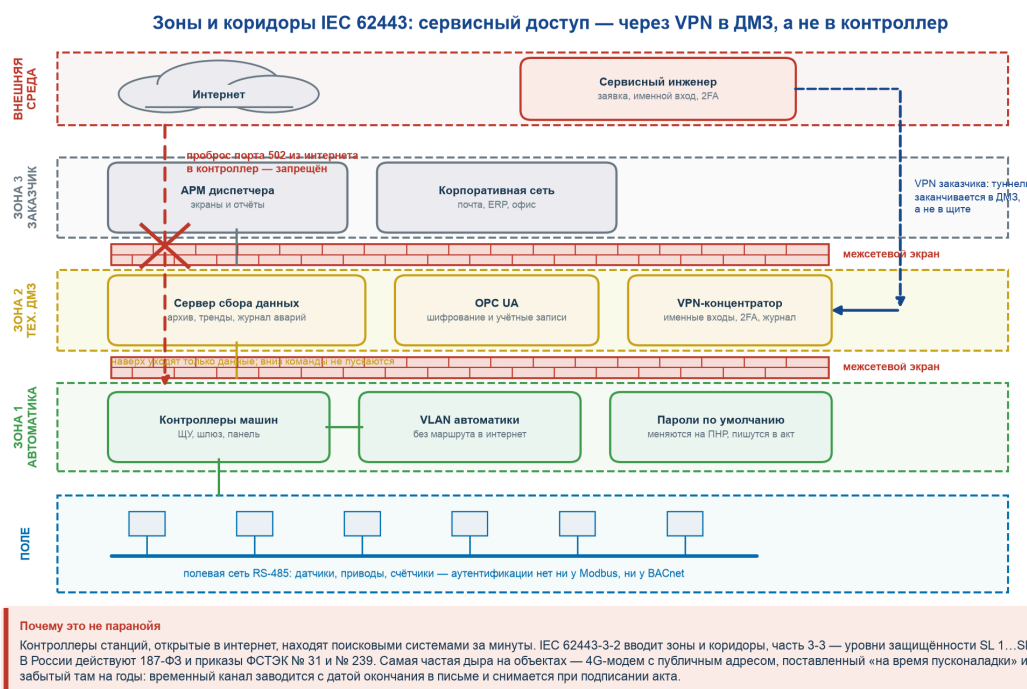
7.7. Удалённый доступ и кибербезопасность

Ни Modbus, ни классический BACnet/IP не имеют аутентификации: кто дотянулся до порта, тот и мастер. Схему защиты описывает IEC 62443: часть 3-2 вводит зоны и коридоры (zones and conduits), часть 3-3 — уровни защищённости SL 1...SL 4.

- Контроллеры — в отдельном VLAN без маршрута в интернет.
- Между сетью автоматики и корпоративной сетью — межсетевой экран: наверх данные, вниз команды не проходят.
- Сервисный доступ — только через VPN заказчика в промежуточную зону, с именными учётными записями, двухфакторной аутентификацией и журналом. Проброс порта 502 в контроллер запрещён.
- Пароли по умолчанию меняют на пусконаладке и фиксируют в акте; модем «на время пусконаладки» снимают при подписании акта.

Если объект относится к критической информационной инфраструктуре, действуют 187-ФЗ, приказ ФСТЭК России № 31 от 14.03.2014 и приказ ФСТЭК № 239, и требования к удалённому доступу укладываются в модель угроз заказчика. Службе безопасности дают одну страницу: протоколы и порты с направлением соединений, учётные записи, схема потоков, способ и регламент удалённого доступа.

Рисунок 24 Зоны и коридоры по IEC 62443: сервисный доступ идёт через VPN в промежуточную зону, а не в контроллер



Ни Modbus, ни классический BACnet не умеют аутентификации: кто дотянулся до порта — тот и мастер

7.8. Протокол — где встречается — на что смотреть

Таблица 21 Протоколы обмена: где встречаются и на что смотреть

Протокол	Где встречается	На что смотреть
Modbus RTU	Шина станции: машины, частотники, счётчики	Терминаторы, топология, адресация с 0 или 1, порядок слов
Modbus TCP	Передача в диспетчеризацию, большинство промышленных объектов	Unit ID за шлюзом, порт 502, отдельный VLAN
BACnet MS/TP	Полевой уровень зданий	Та же физика RS-485, MAC 0...127, Device Instance
BACnet/IP	Здания, бизнес-центры, аэропорты, фармацевтика	BBMD между подсетями, PICS, шлюз или native
PROFINET, EtherNet/IP	Заводы с АСУ ТП на этих сетях	Обычно Modbus TCP в контроллер завода или шлюз
OPC UA (IEC 62541)	ИТ-контур, MES, DCIM	Сервер OPC UA на верхнем уровне, а не в чиллере

Чек-лист раздела 7: протоколы и диспетчеризация

- ☐ Станция работает автономно, диспетчеризация только наблюдает и корректирует.
- ☐ Протокол, скорость, мастер и исполнитель интеграции записаны в задании, граница — по порту щита.
- ☐ Карта регистров со всеми колонками получена до договора на интеграцию, уставки защит — только чтение.
- ☐ Линия RS-485 — гирлянда с двумя терминаторами, общим проводом и экраном, заземлённым с одной стороны.
- ☐ Сигналы останова и пожарной сигнализации заведены проводом, а не по шине.
- ☐ Заданы глубина архива, журнал аварий, роли доступа и единое время.
- ☐ Контроллеры в отдельном VLAN, удалённый доступ — только через VPN с именными учётными записями.

Правило прохода: нет карты регистров и схемы сетевых зон — диспетчеризацию в проект не выпускают.

8. Расчёты с примерами

Все расчёты ведём на одной станции. Ошибки обычно не в арифметике, а в пропущенном шаге: множителе на нагрев жилы, пусковом режиме, резерве входов.

Сквозной пример — станция, которую считаем:

- три чиллера с водяным охлаждением конденсатора по 350 кВт холода, каждый потребляет около 110 кВт электрической мощности;
- холодоноситель — вода 12/7 °С, расчётный расход 180 м³/ч;
- насосы холодоносителя — 3 рабочих + 1 резервный по 22 кВт, на частотных преобразователях;
- насосы оборотной воды — 3 + 1 по 22 кВт, прямой пуск, насосная у градирни в 120 м от щита;
- градирня с четырьмя вентиляторами по 7,5 кВт на частотных преобразователях, узел подпитки и продувки;
- щит станции (Master-щит) питает насосы, вентиляторы и собственные нужды; чиллеры запитаны от ВРУ своими линиями.

ВАЖНО

Не складывайте холод с электричеством. 350 кВт холода и 110 кВт потребления — разные киловатты; путаница в опросных листах завышает ввод втрое.

8.1. Электрические нагрузки станции

Установленная мощность (installed load) — сумма паспортных мощностей. **Расчётная** (design load) — то, что течёт по кабелю одновременно; по ней выбирают ввод. Между ними — коэффициент спроса (demand factor) K_c :

$$P_{\text{расч}} = K_c \times P_{\text{уст}}$$

K_c складывается из загрузки машин и одновременности их работы: резервный насос не работает вместе с рабочими, поэтому для группы «3 + 1» $K_c = 3 / 4 = 0,75$.

Таблица 22 Электрические нагрузки сквозного примера

Потребитель	Кол-во	Рном ед., кВт	Руст, кВт	K_c	Ррасч, кВт	Откуда K_c
Чиллеры (потребляемая)	3	110	330	0,90	297	работа в пике с 10 % запаса
Насосы холодоносителя	3 + 1	22	88	0,75	66	три из четырёх
Насосы оборотной воды	3 + 1	22	88	0,75	66	три из четырёх
Вентиляторы градирни	4	7,5	30	0,70	21	при расчётной температуре не все на полной частоте
Обогревы, освещение, щит, КИПиА	—	—	17	0,60	10	—
Итого			553	0,83	460	посчитано, а не взято

$$\text{Ток ввода: } I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi).$$

1. До компенсации, $\cos \varphi = 0,82$ (типично для станции с прямыми пусками и частичной загрузкой): $I = 460\,000 / (1,732 \times 400 \times 0,82) = 460\,000 / 568 = \mathbf{810\,A}$.
2. После компенсации до $\cos \varphi = 0,95$: $I = 460\,000 / 658 = \mathbf{699\,A}$.

Разница 111 А — ступень вводного аппарата и сечения кабеля, поэтому компенсацию решают на стадии П.

Пусковые режимы. Номинальный ток насоса 22 кВт ($\cos \varphi 0,85$, КПД 0,90): $I_{ном} = 22\,000 / (1,732 \times 400 \times 0,85 \times 0,90) = 41,5$ А. Прямой пуск (DOL, direct-on-line) даёт 6–8 $I_{ном}$, то есть около 250 А; устройство плавного пуска (soft starter) — 2–4 $I_{ном}$; частотный преобразователь (VFD) — 1,0–1,5 $I_{ном}$.

Опасен не одиночный пуск, а **самозапуск после восстановления питания**: три насоса обратной воды, стартующие прямым пуском одновременно, на 1–3 секунды добавляют $3 \times 250 = 750$ А — почти столько же, сколько вся станция берёт в работе. Вводной автомат может отключиться, дизель-генератор — просесть до отпадания контакторов. Лечение бесплатное: **разнести пуски** алгоритмом (0, 15, 30 с), записать это в задание (раздел 9) и проверить на приёмке (раздел 10). Пусковой ток компрессоров запрашивайте у завода по паспорту машины.

8.2. Точки ввода-вывода по типам и резерв

Перечень точек (I/O list) — основа сметы щита: по нему считают модули, клеммы и кабели. Типы сигналов — AI, AO, DI, DO (раздел 4). Граница с контроллером машины: **защита — проводом, информация — по шине**. Разрешение работы и общая авария чиллера идут жёсткой проводкой; ток компрессора, моточасы и коды ошибок — по Modbus или BACnet, в перечень точек щита они не входят. Считаем по единицам оборудования, затем общестанционные точки.

Таблица 23 Точки ввода-вывода станции из трёх чиллеров

Узел	Состав точек	AI	AO	DI	DO
Чиллер, 3 шт.	AI: Твх и Твых испарителя, Твх и Твых конденсатора; AO: внешняя уставка 4–20 мА; DI: работа, общая авария (нормально замкнутый контакт), дистанционный режим; DO: разрешение работы	12	3	9	3
Насос холодоносителя с ЧРП, 4 шт.	DI: работа, авария, режим «авто»; DO: пуск; AO: задание частоты	—	4	12	4
Насос обратной воды, прямой пуск, 4 шт.	DI: работа, авария, режим «авто»; DO: пуск	—	—	12	4
Вентилятор градирни с ЧРП, 4 шт.	DI: работа, авария, режим «авто»; DO: пуск; AO: задание частоты	—	4	12	4
Контур холодоносителя	Т подачи и обратки на коллекторах, расход, давление до и после насосной, перепад на фильтре, перепад у дальнего потребителя, давление в расширительном баке	8	—	—	—
Контур обратной воды и градирня	Т подачи и обратки, расход, давление до и после насосов, уровень в поддоне, электропроводность; AO: клапан зимнего байпаса; DI: сухой ход насосов, импульсы счётчика подпитки, обогрев поддона; DO: подпитка, продувка, обогрев поддона	7	1	3	3
Наружный воздух	температура и влажность	2	—	—	—
Щит и общие сигналы	DI: реле контроля фаз, положение двух вводных аппаратов, аварийный останов, перегрев щита, «нагрузка есть» от технологии; DO: сирена, лампа общей аварии, общая авария в диспетчерскую	—	—	6	3
Итого рабочих точек		29	12	54	21

Всего 116 точек. Пары температур на каждой машине нужны для диагностики: на коллекторах смешивается всё, и забитый испаритель одной машины там не виден.

Резерв. Ориентир международной практики (своды проектных требований раздела Division 25 «Integrated Automation»): **не менее 20 % резервных точек и не менее двух каждого типа**. Меньше 15 % съедается на самой пусконаладке, больше 30 % — лишние модули и размер шкафа. Для примера: AI 29 + 6 = **35**; AO 12 + 3 = **15**; DI 54 + 11 = **65**; DO 21 + 5 = **26** (20 % с округлением вверх).

Контроллер комплектуется под 141 точку, а не под 116. Тот же запас — в клеммах (20 %, минимум 10 на группу), на DIN-рейке одним участком в каждом отсеке, в кабельных вводах; блок питания 24 В — с запасом **не менее 30 %** по току.

Рисунок 25 Строка перечня сигналов: позиция по ФСА, тип сигнала, канал, уставка и участие в блокировке

Перечень сигналов (I/O list): строка на каждую точку, без неё щита не существует

позиция связывает строку с ФСА и с клеммником

тип сигнала: AI, AO, DI, DO, AI 4–20 mA, RTD, сухой контакт — разные модули

колонка «ДА» — это жёсткая проводка, а не команда по сети

Позиция по ФСА	Наименование	Тип сигнала	Модуль / канал	Уставка / диапазон	В блокировке
TT-101	Температура воды на подаче испарителя	AI · Pt1000 → 4–20 mA	AI-1 / к.1	рабочая уставка 7 °C	нет
TT-102	Температура воды на обратке испарителя	AI · Pt1000 → 4–20 mA	AI-1 / к.2	расчётные 12 °C, Δt = 5 K	нет
PDT-210	Перепад давления на испарителе	AI · 4–20 mA	AI-1 / к.3	паспорт 0,62 бар; 1,5х — обслуживание	нет
FS-301	Реле протока на входе испарителя	DI · сухой контакт	DI-1 / к.1	останов 2–5 с; пуск 5–15 с	ДА
LSL-401	Нижний уровень в поддоне градирни	DI · сухой контакт	DI-1 / к.2	защита насоса от сухого хода	ДА

Резерв: 20 % свободных каналов каждого типа — AI, AO, DI, DO

Две вещи, из-за которых этот лист переделывают на объекте

Резерв — самая дешёвая строка в смете и самая дорогая, когда её нет: добавить канал на готовом щите означает новый модуль, место на рейке, питание и остановку объекта. Перечень сверяют с фактом на приёмке: проходят по клеммнику и отмечают каждую точку — расхождения бывают всегда.

Смета на автоматику начинается не с оборудования, а с этой таблицы

8.3. Тепловыделение в щите и выбор охлаждения

Шаг 1. Тепловыделение по составу. Ориентиры (рабочие цифры — по каталогам): частотный преобразователь — 2–4 % передаваемой мощности, блок питания 24 В — 6–12 % выходной, контактор — 5–20 Вт. Потери автомата пересчитывают на фактический ток, $P(I_b) = P(I_n) \times (I_b / I_n)^2$, с коэффициентом на присоединения 1,3–2.

Таблица 24 Тепловыделение щита станции

Что внутри	Расчёт	Вт
ЧРП насосов холодоносителя, 3 в работе	$3 \times 22 \text{ кВт} \times 0,8 \times 3 \%$	1584
ЧРП вентиляторов градирни, 4 шт.	$4 \times 7,5 \text{ кВт} \times 0,8 \times 3 \%$	720
Вводной автомат с присоединениями	по каталогу, принято	100
Контакторы (насосы оборотной воды и прочие), 8 шт.	$8 \times 10 \text{ Вт}$	80
Модульные автоматы, около 20 шт.	по 3–4 Вт	65
Трансформатор цепей управления 400 ВА	—	40

Что внутри	Расчёт	Вт
Блок питания 24 В, 240 Вт, КПД 90 %	—	27
Внутренние провода и клеммы	—	80
Итого		2696

Приводы дают 2304 Вт из 2696, то есть **85 %** тепла: вынос их в отдельную секцию или исполнение с радиатором наружу дешевле любой климатики.

Шаг 2. Что отдаст корпус. $Q = k \times A \times \Delta T$, где $k \approx 5,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ для окрашенной стали (алюминий около 12, пластик около 3,5), A — площадь только **свободных** поверхностей. Точный метод с коэффициентами по способу установки — IEC 60890.

Щит из двух секций $2000 \times 800 \times 600$ мм в ряд, задней стенкой к стене: передняя $3,20 \text{ м}^2$ + боковые $2,40 \text{ м}^2$ + верх $0,96 \text{ м}^2 = \mathbf{6,56 \text{ м}^2}$, $k \times A = 36,1 \text{ Вт}/\text{К}$. Наглухо закрытый щит нагрелся бы на $2696 / 36,1 = \mathbf{75 \text{ К}}$ выше воздуха щитовой.

Шаг 3. Вентилятор или кондиционер. Задача: внутри не выше $+40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 25 Выбор охлаждения щита сквозного примера

Условие	Корпус отдаёт сам	Остаток	Решение
В щитовой $+30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta T = 10 \text{ К}$	$36,1 \times 10 = 361 \text{ Вт}$	2335 Вт	Вентилятор с фильтром: $V = 3,1 \times 2335 / 10 = \mathbf{724 \text{ м}^3/\text{ч}}$; с учётом падения расхода на фильтре и решётке на 20–40 % — паспортно не менее $1050 \text{ м}^3/\text{ч}$, по вентилятору на секцию
В щитовой $+40 \text{ }^\circ\text{C}$, внутри держим $+35 \text{ }^\circ\text{C}$	приток снаружи $36,1 \times 5 = 180 \text{ Вт}$	$2696 + 180 = 2876 \text{ Вт}$	Холодильный агрегат шкафа 3,3–3,6 кВт (запас 15–25 %), с отводом конденсата
Приводы вынесены из щита	—	392 Вт	Перегрев закрытого корпуса около 11 К — на границе; хватает решёток естественной вентиляции

Формула $V = 3,1 \times Q / \Delta T$ ($\text{м}^3/\text{ч}$, Вт, К) — из плотности и теплоёмкости воздуха при обычных условиях. Выше 1000 м над уровнем моря воздух уносит меньше тепла.

Вентилятор не охлаждает, а выносит тепло с воздухом: он работает, только пока в щитовой холоднее допустимого внутри щита. При грязном воздухе и при IP54 без отверстий нужен холодильный агрегат.

ВНИМАНИЕ

Тепло щита — это тепло помещения. 2,7 кВт от щита уходят в щитовую. Если в задании на вентиляцию (ОВ) этой цифры нет, летом контроллер и приводы уйдут в перегрев — и это будет записано как «плохая автоматика». Щит на солнечной стороне получает ещё и радиационный приток: козырёк, светлая окраска и тень дешевле кондиционера.

8.4. Сечение кабеля и потеря напряжения

Кабель проверяют по нагреву (ПУЭ, глава 1.3), потере напряжения и стойкости к току КЗ с согласованием защиты. На длинных линиях сечение диктует второй критерий.

$\Delta U = \sqrt{3} \times I \times L \times (r_0 \times \cos \varphi + x_0 \times \sin \varphi)$, где L — длина, км; x_0 для кабелей 0,4 кВ — 0,07–0,09 Ом/км; r_0 для меди при рабочей температуре жилы: $r_0(70 \text{ }^\circ\text{C}) = (0,0175 \times 1000 / S) \times 1,2$. Множитель 1,2 пропускают чаще всего — и ошибаются на 20 % в свою пользу.

Пример: насос оборотной воды 22 кВт, 41,5 А, 120 м, cos φ 0,85.

Таблица 26 Потеря напряжения в кабеле насоса 22 кВт на 120 м

Режим	Сечение	r_0 при 70 °С, Ом/км	ΔU , В	ΔU , %
Работа	10 мм ²	2,10	$1,732 \times 41,5 \times 0,12 \times (2,10 \times 0,85 + 0,08 \times 0,527) = 15,8$	3,9
Работа	16 мм ²	1,31	$8,625 \times (1,31 \times 0,85 + 0,042) = 10,0$	2,5
Прямой пуск, 250 А, cos φ 0,35	16 мм ²	1,31	$1,732 \times 250 \times 0,12 \times (1,31 \times 0,35 + 0,08 \times 0,937) = 27,7$	6,9

Как читать. 3,9 % — много: до щита уже потеряно 1,5–3 %. Практический ориентир для двигателей — не более 5 % суммарно от шин 0,4 кВ подстанции до самого удалённого потребителя (тот же порядок даёт IEC 60364-5-52, приложение G; ГОСТ 32144-2013 допускает отклонение в точке передачи ±10 %). Берём 16 мм².

Пусковой режим. При прямом пуске провал только в кабеле — 6,9 %, а с просадкой трансформатора и ввода суммарно легко выходит 12–15 %. Катушки контакторов по IEC 60947-4-1 гарантированно держатся до 85 % номинала. Отсюда картина «при пуске большого насоса отваливается половина контакторов». Выходы: сечение больше, УПП на этих насосах или разнесённый пуск.

8.5. Тепловой баланс станции как проверка датчиков

Закон сохранения энергии — единственная бесплатная проверка всех приборов станции разом. Для чиллеров с водяным конденсатором:

Q конденсаторов = Q испарителей + N компрессоров

Мощность по воде: $Q \text{ [кВт]} = 1,163 \times G \text{ [м}^3/\text{ч]} \times \Delta t \text{ [K]}$. Для 30 % этиленгликоля коэффициент около 1,045 — посчитав гликоль по «водной» формуле, вы завысите мощность на 11 %.

Пример, три машины на полной нагрузке.

1. Испарители: $G = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$, $12,0 \rightarrow 7,0 \text{ °C}$. $Q = 1,163 \times 180 \times 5,0 = \mathbf{1047 \text{ кВт}}$.
2. Компрессоры по анализатору сети: **330 кВт**.
3. Ожидаем в конденсаторах: $1047 + 330 = \mathbf{1377 \text{ кВт}}$.
4. Измерили: $G = 236 \text{ м}^3/\text{ч}$, $30,0 \rightarrow 34,8 \text{ °C}$. $Q = 1,163 \times 236 \times 4,8 = \mathbf{1317 \text{ кВт}}$.
5. Расхождение 60 кВт, или **4,3 %**.

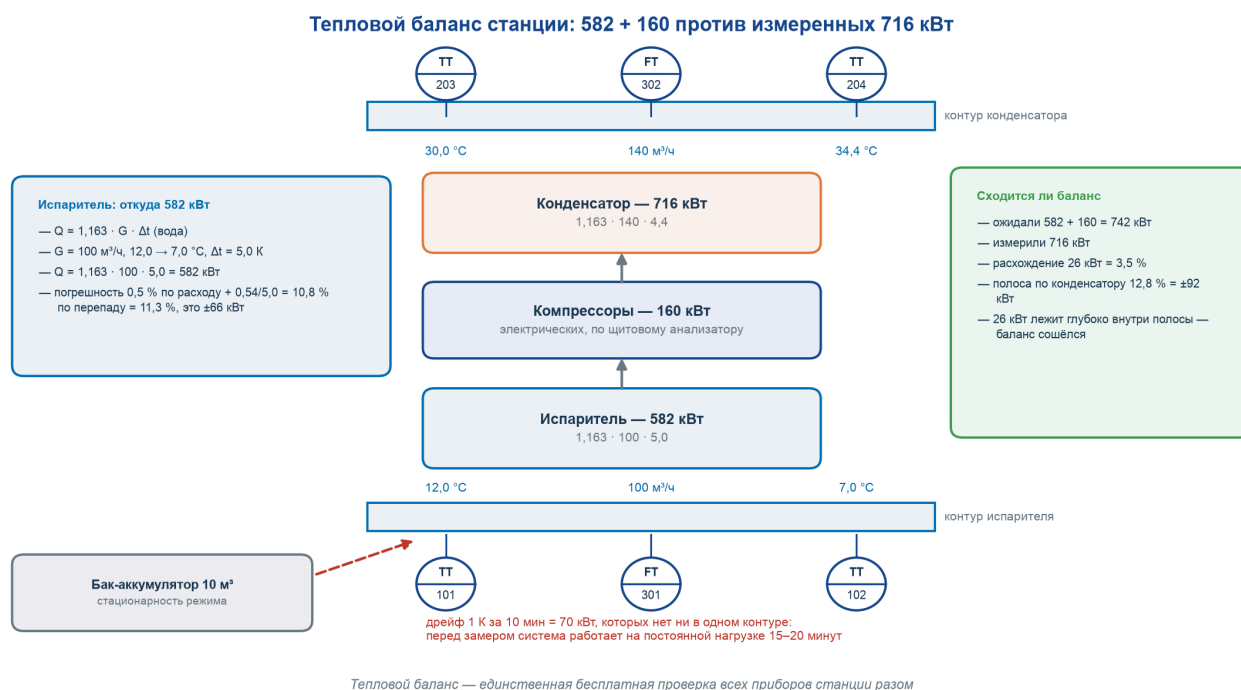
Сравниваем с погрешностью. Пара термопреобразователей класса А с трактом даёт около 0,54 К по перепаду, электромагнитный расходомер — 0,5 %. По конденсаторам: $0,5 \% + 0,54 / 4,8 = 11,75 \%$, или ±155 кВт; 60 кВт внутри полосы — **баланс сошёлся**. На перепаде 5 К мощность по воде меряется не точнее ±10 %: виноват маленький знаменатель, а не расходомер.

Если не сошлось (скажем, на конденсаторах $30,0 \rightarrow 33,8 \text{ °C}$, 1043 кВт, расхождение 24 %), ищут сверху вниз: стационарность режима (бак 10 м³ с дрейфом 1 К за 10 минут — это $10 \times 1000 \times 4,19 / 600 = 70 \text{ кВт}$, поэтому перед замером 15–20 минут постоянной нагрузки); сверку пар датчиков на остановленной станции; прямые участки расходомеров; открытые байпасы; концентрацию гликоля; неучтённые притоки от насосов; и только потом — машину. Расхождение с заводской характеристикой в 25 % почти всегда означает ошибку измерений: машины аттестуют по AHRI 550/590.

ПРИМЕЧАНИЕ

Что заложить ради баланса: гильзы на испарителе и конденсаторе **каждой** машины, расходомеры обоих контуров на прямых участках, счётчик электроэнергии станции. Без них спор о недоданной мощности решается мнением.

Рисунок 26 Тепловой баланс на одной машине: испаритель плюс компрессор против измеренного конденсатора



Чек-лист раздела 8: расчёты проверены

- ☐ Нагрузки сведены в таблицу с Кс для каждой группы, холод и электричество не смешаны.
- ☐ Посчитан ток ввода до и после компенсации, учтены пусковые токи и разнесение самозапуска.
- ☐ Перечень точек разложен по AI, AO, DI, DO; заложено 20 % резерва и не менее двух точек каждого типа.
- ☐ Тепловыделение щита посчитано по составу, способ охлаждения выбран по летней температуре помещения.
- ☐ Тепло щита передано в задание на вентиляцию щитовой.
- ☐ Кабели дальних двигателей проверены по потере напряжения в работе и при пуске, с множителем 1,2 на нагрев жилы.
- ☐ Для теплового баланса есть гильзы на каждой машине, расходомеры на прямых участках и счётчик на вводе.

Правило прохода: не закрыт хоть один пункт — задание на щит заводу отправлять рано.

9. Проект

Автоматика станции проектируется дважды: на стадии П — принципиальными решениями для экспертизы, на стадии Р — документами, по которым собирают щит и прокладывают кабель. Дыры стадии П обходятся дешевле всего: точка контроля в проекте — это бобышка и полчаса сварщика, после монтажа — остановка контура.

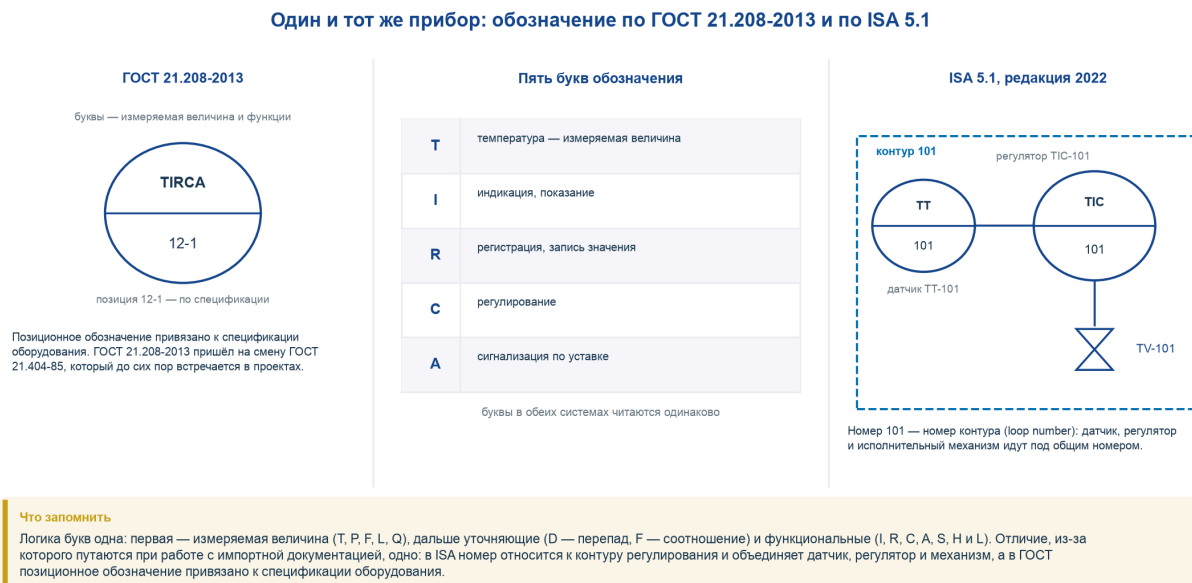
9.1. Что показать на стадиях П и Р

Состав разделов стадии П задан постановлением Правительства РФ № 87 от 16.02.2008; автоматика входит в раздел инженерного оборудования. Рабочую документацию оформляют по ГОСТ Р 21.101-2026 и ГОСТ 21.408, виды схем — по ГОСТ 2.701-2008, правила их выполнения — по ГОСТ 2.702-2011.

Таблица 27 Документы автоматики станции: что в них и кто делает

Документ	Стадия	Что в нём	Кто делает
Структурная схема системы и сети	П, Р	Уровни: машины, Master-щит, диспетчеризация; протоколы и точки обмена	Проектировщик АТХ
Функциональная схема автоматизации (ФСА)	П, Р	Технологическая схема с приборами по ГОСТ 21.208-2013, контуры регулирования и блокировки	Проектировщик АТХ по схеме ХС
Перечень сигналов (I/O list)	Р	Строка на каждую точку: позиция, тип, диапазон, блокировка, архив	Проектировщик АТХ, сверяет завод
Описание алгоритма (sequence of operation)	П — кратко, Р — полностью	Режимы, уставки, каскад, блокировки, поведение при отказах	Проектировщик АТХ, согласует заказчик
Однолинейная схема щита	П, Р	Ввод, вводной аппарат, учёт, шины, отходящие линии с номиналами и сечениями	Проектировщик ЭМ/АТХ, детально — завод
Принципиальная схема щита (ЭЗ)	Р	Логика цепей управления и защит	Завод-изготовитель щита
Схема подключения (ЭЗ), кабельный журнал	Р	Какие внешние кабели, на какие клеммы, марка, сечение	Проектировщик АТХ с заводом
План трасс и расположения приборов	Р	Лотки, раздельная прокладка, места врезок	Проектировщик АТХ
Карта регистров	Р	Адреса Modbus или объекты BACnet, тип данных, масштаб, права	Завод, согласует интегратор
Программа и методика испытаний (ПМИ)	Р	Проверки, условия, критерии «годен»	Проектировщик или поставщик, подписывает заказчик

Обозначения приборов. ГОСТ 21.208-2013 (он заменил ГОСТ 21.404-85, который ещё встречается в старых проектах) и ANSI/ISA-5.1 читаются одинаково: первая буква — измеряемая величина (Т, Р, F, L), модификатор D — перепад, дальше функции (Т — передача, I — показание, С — регулирование, S — блокировка, А — сигнализация с Н или L). Различие одно, но важное: в ISA номер в теге — это номер контура (loop number), в ГОСТ позиция привязана к спецификации. Импортную схему читайте по её легенде, а не по российской таблице.



Буквы читаются одинаково, а номер означает разное: в ISA это контур, в ГОСТ — позиция в спецификации

ФСА проверяют за три прохода: по трубам (где врезки), по буквам (что идёт в блокировку — S и A), по линиям связи (что заведено в контроллер, а что только манометр).

Однолинейную схему читают сверху вниз: ввод и система заземления, вводной аппарат, учёт, шины, отходящие линии. На каждой линии проверяют цепочку «номинал защиты — уставка теплового реле — сечение кабеля — ток двигателя». Категорию надёжности видно по схеме, а не по строке ТЗ: два ввода от одного трансформатора — не два независимых источника.

Рисунок 28 Однолинейная схема станции: две секции шин с АВР, цепи управления от ИБП отдельной группой



Три проверки на объекте вместо строки в ТЗ

Категорию определяет технолог заказчика, а обеспечивает сетевая организация, и эти двое обычно не разговаривают. Ответ на вопрос «какая у вас категория» ничего не стоит: смотрите сами. Сколько вводных ячеек в РУ-0.4 кВ; есть ли между секциями секционный аппарат и управляется ли он автоматически; от скольких трансформаторов и питающих линий 6–10 кВ эти вводы запитаны. Два ввода от одного трансформатора — это не две независимые точки, а два кабеля от одной точки отказа.

Станция не бывает одной категории целиком: силовая часть, цепи управления и обогревы живут по разным правилам

9.2. Перечень сигналов: шаблон

Колонки, без которых перечень не годится для сметы и для приёмки:

Таблица 28 Шаблон перечня сигналов

Позиция по ФСА	Наименование	Тип и сигнал	Диапазон, единицы	Источник	Блокировка	В диспетчеризацию	Архив, шаг
ТТ-101	Т подачи испарителя СН-1	AI, Pt1000 / 4–20 мА	по паспорту датчика	свой датчик	нет	да	да, 1 мин
FS-301	Реле протока испарителя СН-1	DI, сухой контакт	—	прибор по паспорту машины	да, аппаратно	да	события
—	Ток компрессора СН-1	сеть, Modbus	A	контроллер машины	нет	да	да, 1 мин

Внизу — строка резерва по типам (раздел 8.2). Теги оборудования (СН-1, Р-1А, СТ-1) одинаковы в схеме, щите, программе и на шильдике.

9.3. Задания смежникам

Автоматика держится на чужих разделах. Не выданное задание всплывает на пусконаладке.

Таблица 29 Задания смежным разделам

Кому	Что передать
ХС, ТМ (трубопроводы)	Гильза на каждую точку температуры жидкости (погружение 1/3–2/3 диаметра, не менее 50–80 мм, под углом или в колено на DN50 и меньше, материал под среду); врезки реле протока строго по паспорту машины; парные отборы давления на одной высоте с кранами; прямые участки расходомеров на обратке, не на всасывании насоса — 5 D до и 3 D после, при сложной гидравлике 10 D и 5 D (на DN150 это 1,5 м и 0,75 м)
ЭМ, ЭО (электрика)	Таблица нагрузок с Кс и пусковыми токами; категория надёжности по группам; ИБП цепей управления; требование к разнесённому самозапуску; счётчик электроэнергии станции; кабель до вводных клемм щита
ОВ (вентиляция)	Тепловыделение щита в помещение (в примере раздела 8 — 2,7 кВт), допустимая температура в щитовой, отсутствие капежа и попадания воды при мойке полов
АР, КЖ (архитектура)	Место под щит с зоной обслуживания перед ним не менее 1,0–1,2 м по ПУЭ, высота с учётом ввода кабеля сверху, закладные трубы между машзалом, щитовой и диспетчерской
Диспетчеризация	Протокол и физика линии, кто мастер, карта параметров, поведение при потере связи, граница ответственности — порт Master-щита
Трассы	Силовые и сигнальные раздельно, 200–300 мм при параллельной прокладке; 30 % свободного сечения в лотке

ВАЖНО

Нет места под прямой участок — не ставьте накладной ультразвуковой расходомер «как-нибудь». На плохой гидравлике он ошибается на десятки процентов. Либо участок, либо письменная фиксация, что расход не измеряется.

9.4. Техническое задание на автоматику

Две строки «предусмотреть автоматическое управление и диспетчеризацию» — это не ТЗ. Минимальный состав:

1. Перечень сигналов AI/AO/DI/DO с резервом 20 %. 2. Алгоритм: параметр регулирования, уставки, зона нечувствительности (dead band), задержки, ввод машин, ротация. 3. Аварии с делением на останавливающие и сигнализирующие, с уставками и выдержками. 4. Поведение при потере и восстановлении питания, порядок и паузы самозапуска. 5. Безопасное положение (failsafe position) каждого привода при потере питания. 6. Работа при потере связи с верхним уровнем — по последним уставкам. 7. Протокол (Modbus RTU/TCP или BACnet, ASHRAE Standard 135), карта регистров, кто делает шлюз. 8. Диспетчеризация: архивируемые параметры, глубина и шаг архива, права, журнал событий. 9. Электрика: категория по ПУЭ, ввод, селективность, щит по ГОСТ IEC 61439-1-2024 и -2-2024, IP по ГОСТ 14254-2015 с местом установки. 10. Климатика щита: тепловой режим, обогрев, вентиляция или кондиционирование. 11. ПНР и документация: ПМИ, исполнительная документация, обучение, передача программы. 12. Граница ответственности: кто поставляет, монтирует, подключает, настраивает — по каждой позиции.

Проверяя чужое ТЗ, ищите четыре вещи: **таблицу точек, таблицу уставок, раздел о поведении при отказах, критерии приёмки**. Нет любой — объём работ открыт и определится на неделе пуска.

Что дать заводу (по опросному листу на программу): ТЗ и алгоритм, ФСА и схемы щитов, если есть; оборудование по типам и количеству; функции контроллера и срок хранения журнала аварий (типовой — 6 месяцев); протокол верхнего уровня (типовой — Modbus TCP); режимы управления — местный, дистанционный с АРМ, интеграция, выносные панели; вид сигнализации; условия электроснабжения.

9.5. «Красные слова» в договоре

Опасная формулировка задаёт результат без границ, защищающая — проверяемое обязательство внутри описанных условий. Формулировки ниже инженерные; окончательную редакцию согласует юрист.

Таблица 30 Красные слова в договоре на автоматику

Опасно	Как сделать проверяемым
«в полном объёме, включая все необходимые работы и материалы»	Объём — по приложениям: перечень точек, однолинейная схема, структурная схема сети; явно перечислено, что не входит (трассы, врезка гильз, питание до вводных клемм)
«полная автоматизация без участия оператора»	Алгоритм — приложением, согласован до программирования; изменения после начала ПНР — дополнительным соглашением
«с оптимизацией энергопотребления»	Числовой критерий, метод замера, приборы, условия (нагрузка, наружная температура), допуск
«интеграция в существующую диспетчеризацию»	Протокол, физика, карта параметров; граница — порт щита; работы в системе заказчика и лицензии не входят
«прочие сигналы по согласованию»	Закрытый перечень точек; всё сверх — допсоглашением
«ПНР в срок до ... с момента поставки»	Начало ПНР — по акту готовности объекта, включая тепловую нагрузку не менее оговорённой доли
«принято после подтверждения работоспособности»	Приёмка по программе функциональных испытаний с критериями; замечания вне программы — запрос на доработку
«гарантия 24 месяца» без условий	Гарантия на конфигурацию и версию программы из акта ПНР; вмешательство третьих лиц подтверждается журналом изменений контроллера

Чек-лист раздела 9: проект готов к выдаче

- ☐ ФСА выполнена по ГОСТ 21.208-2013, легенда импортных схем приложена.
- ☐ Перечень сигналов содержит тип, диапазон, блокировку, архив и резерв по типам.
- ☐ Алгоритм содержит уставки, поведение при отказах и failsafe каждого привода.
- ☐ Задания выданы ХС, ЭМ, ОВ, АР и диспетчеризации, включая гильзы, прямые участки и тепло щита.
- ☐ Однолинейная схема показывает категорию надёжности, ИБП цепей управления и учёт станции.
- ☐ ТЗ содержит таблицу точек, таблицу уставок, раздел отказов и критерии приёмки.
- ☐ В договоре нет оборотов без границ, приёмка привязана к программе испытаний.

Правило прохода: любой пустой пункт станет спором на неделе пуска — закрывайте его до выдачи стадии Р.

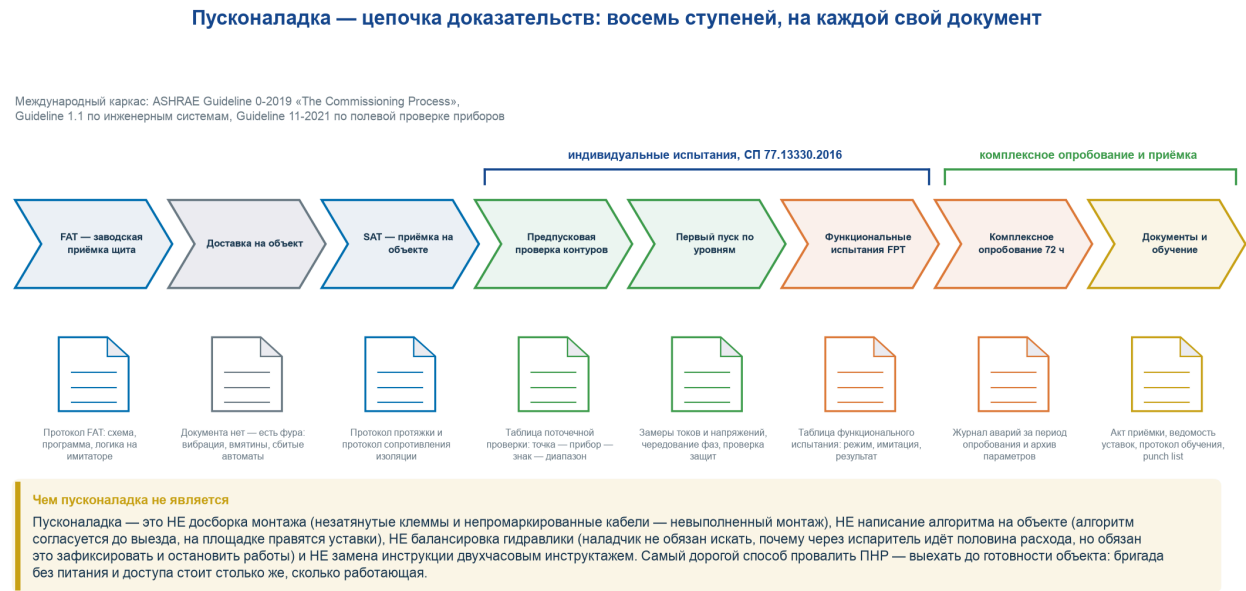
10. Пусконаладка и приёмка

Пусконаладка — цепочка доказательств: каждая ступень оставляет документ, следующая начинается после подписи предыдущей. Международный каркас — ASHRAE Guideline 0-2019 «The Commissioning Process», Guideline 1.1 и Guideline 11-2021 (полевая проверка приборов). В России — СП 77.13330.2016 «Системы автоматизации»: индивидуальные испытания, комплексное опробование, акт приёмки в эксплуатацию.

Таблица 31 Ступени пусконаладки автоматики

Ступень	Где	Что доказывает	Документ
FAT — заводские испытания щита (factory acceptance test)	На заводе	Щит собран по схеме, программа загружена, логика отрабатывает на имитаторе	Протокол приёмо-сдаточных испытаний, протокол FAT
SAT — приёмка на объекте (site acceptance test)	В щитовой	Щит доехал целым, смонтирован, изоляция в норме	Протоколы осмотра, протяжки, изоляции
Предпусковая поточечная проверка (pre-functional checklist)	На объекте	Каждая точка привязана к своему прибору, знак и масштаб верны	Таблица поточечной проверки
Функциональные испытания (FPT, functional performance test)	На работающей станции	Каждый режим и каждая авария отрабатывают по алгоритму	Протокол функциональных испытаний
Комплексное опробование	На технологической нагрузке, обычно 72 ч	Суточный цикл без сбоев	Журнал аварий, архив, акт

Рисунок 29 Пусконаладка как цепочка доказательств: на каждой ступени свой документ



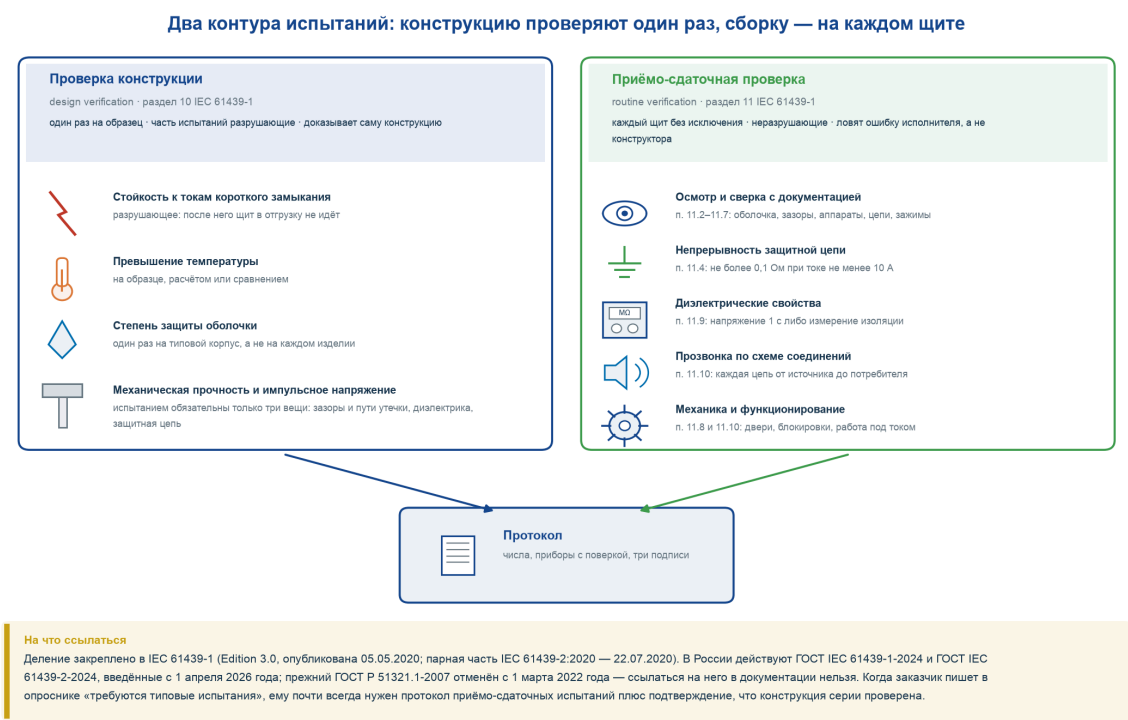
Следующая ступень начинается только после подписи предыдущей — иначе доказывать нечем

10.1. Заводские испытания щита (FAT)

Стандарт на щиты различает **проверку конструкции** (design verification, раздел 10 IEC 61439-1 — один раз на образец: стойкость к КЗ, превышение температуры, IP) и **приёмо-сдаточную**

проверку (routine verification, раздел 11 — каждый щит без исключения). В России действуют ГОСТ IEC 61439-1-2024 и ГОСТ IEC 61439-2-2024; ГОСТ Р 51321.1-2007 отменён с 1 марта 2022 года, ссылаться на него нельзя. Когда в опросном листе пишут « типовые испытания », обычно нужен протокол приёмо-сдаточных испытаний и подтверждение, что конструкция серии проверена.

Рисунок 30 Конструкцию проверяют один раз, сборку — на каждом щите



Требовать от сборщика того, что делается один раз на опытном образце, бессмысленно

Таблица 32 Приёмо-сдаточные проверки щита и критерии

Проверка	Как	Критерий
Осмотр и сверка	Аппараты и маркировка против спецификации построчно	Замена «эквивалентом» без согласования — несоответствие
Непрерывность защитной цепи	Между главным зажимом заземления и каждой открытой проводящей частью, током не менее 10 А	Не более 0,1 Ом (IEC 61439-1)
Сопротивление изоляции	Мегаомметром не менее 500 В, электроника отсоединена	Не менее 1000 Ом на вольт (IEC 61439-1, для щитов с защитой ввода до 250 А); по ПУЭ, табл. 1.8.39: щиты до 1 кВ — 0,5 МОм, присоединения вторичных цепей — 1 МОм
Испытание повышенным напряжением	Главные цепи при 300 < Ui ≤ 690 В — 1890 В переменного тока, 1 с	Нет пробоя; по ПУЭ, п. 1.8.34, вторичные цепи — 1 кВ, 1 мин
Прозвонка	Каждая цепь по схеме соединений, с отметкой цветом на распечатке	Непрокрашенная цепь — непроверенная
Функциональные испытания	Имитация: 4 / 12 / 20 мА, обрыв и КЗ; Pt1000 магазином сопротивлений; DI перемычкой; АО по показанию привода	Цифры в протоколе, а не «работает»

Проверка	Как	Критерий
Горячий прогон	Под нагрузкой до установившейся температуры, с тепловизором	Нет перегретых зажимов

Протокол обязан содержать идентификацию щита и редакцию документации, характеристики (Ui, ток, система заземления, IP), приборы с номерами свидетельств о поверке, условия (температура, влажность), результаты **числами**, несоответствия и подписи — при FAT с представителем заказчика отдельной строкой.

Замечания ведут списком (punch list) по категориям: **A** — отгрузка блокируется; **B** — устраняется до отгрузки; **C** — оформление, можно закрыть позже. Протокол FAT не отменяет SAT, но сужает спор: вход, проверенный калибратором на заводе, переводит поиск на кабель и датчик.

ПРИМЕЧАНИЕ

Что заказчику получить заранее: ПМИ на FAT с критерием «годен» по каждой строке, согласованную до приезда, и протокол собственных приёмо-сдаточных испытаний завода — до FAT, а не вместо него.

10.2. Приёмка на объекте (SAT) и поточечная проверка

SAT проверяет, что случилось со щитом в дороге и при монтаже, и его связь с реальной сетью, датчиками и механизмами: осмотр, протяжка после перевозки с записью в протокол, изоляция после подключения внешних кабелей, заземление корпуса, маркировка с двух концов.

Поточечная проверка (point-to-point checkout) доказывает, что каждая точка соединена со своим прибором, с правильным знаком, диапазоном и масштабом. Три правила: воздействие идёт от прибора к экрану; каждая точка проверяется отдельно; результат пишется в таблицу.

Таблица 33 Поточечная проверка: типовые строки

Сигнал	Воздействие	Ожидаемо
Pt1000	Магазин сопротивлений 1000 Ом (0 °C), затем 1097,3 Ом (25 °C)	Показания 0 и 25 °C, ошибка не более ±0,3 °C
Обрыв датчика	Разомкнуть жилу	Авария «обрыв» за ≤10 с, переход в безопасный режим
4–20 мА	Калибратор 4 / 12 / 20 мА; снять провод	Низ, середина, верх диапазона; ток <3,6 мА — авария «обрыв», а не «0 бар»
Реле протока	Разомкнуть контакт в поле	Останов машины по истечении задержки
Реле высокого давления	Имитация по паспорту	Аппаратный разрыв цепи пуска, независимо от программы
Аварийный останов	Нажать на каждом посту	Силовые цепи обесточены, контроллер пишет аварию, автоперезапуск запрещён
Выход на ЧРП	0 / 50 / 100 %	0 / 25 / 50 Гц на дисплее привода
Привод клапана	Снять питание	Клапан в заявленном failsafe-положении

Имитация проверяет линию, но не прибор: датчик без термопасты в гильзе её пройдёт. Поэтому соседние датчики на остановленной станции сверяют между собой (±0,3–0,5 °C), а диапазон входа — с паспортом **установленного** прибора: датчик 0–16 бар на входе 0–25 бар покажет 15,6 вместо 10.

Рисунок 31 Цепочка одного сигнала: имитация доказывает целостность только правее точки воздействия



Три правила, которые экономят сутки

Имитация сопротивлением и током проверяет вход и линию, но не сам прибор: датчик, который врёт на 3 °C из-за посадки в гильзе без пасты, пройдёт такую проверку идеально. Поэтому воздействие идёт от прибора к экрану, каждая точка проверяется отдельно, а результат пишется в таблицу — она становится приложением к протоколу ПНР.

Имитация доказывает целостность только того, что правее точки воздействия

ВАЖНО

Два теста не сокращают ни при каких сроках: чередование фаз (перестановкой двух фаз на обесточенном щите — двигатель не должен запуститься, щит обязан выдать аварию) и failsafe каждого привода с пружиной возврата. Первое защищает компрессор, второе — теплообменник от замерзания.

10.3. Лестница первого пуска и комплексное опробование

Машина включается на пятой ступени, а не на первой. **Защита проверяется раньше того, что она защищает.**

1. **Питание по уровням.** Напряжения на вводе в пределах $\pm 10\%$ (360–440 В по ГОСТ 32144-2013), блок 24 В под нагрузкой не ниже 22,8 В, дата и время в контроллере. 2. **Чередование фаз и вращение** каждого двигателя: насос при обратном вращении даёт 30–50 % напора, и это легко принять за норму. 3. **Защиты до пуска:** аварийный останов, реле высокого давления, контроль фаз, защита от замерзания, реле протока (останов за паспортное время, типично 5–10 с), блокировка «нет насоса — нет компрессора». 4. **Вспомогательное оборудование:** токи по фазам против паспорта, разброс больше 10 % — искать причину. 5. **Первый пуск машины** под наблюдением: давления, перегрев, переохлаждение, температуры воды, ток, время выхода на режим. Каждая цифра — в журнал: через год это эталон для сервиса.

Рисунок 32 Лестница первого пуска: на каждой ступени замеры и условие, при котором выше не поднимаются



Каждая ступень держит следующую: пуск без проверенной защиты бывает ровно один раз

Функциональные испытания проверяют каждый режим и каждую аварию имитацией: пуск из холодного состояния, ввод и вывод машин, смена ведущей, отказ насоса с переходом на резерв, обрыв датчика, потеря питания с разнесённым самозапуском, потеря связи с диспетчеризацией (станция работает сама). Строка протокола содержит исходное состояние, воздействие, ожидаемую реакцию, **факт с цифрой** и время.

Комплексное опробование — обычно 72 часа на технологической нагрузке с записью архива: ловит суточный цикл и перегрев щита в жару. Минимальная ступень чиллера — 25–50 % мощности, без нагрузки машина тактует, поэтому способ создать нагрузку согласуют до выезда.

10.4. Документы и что записать в договор

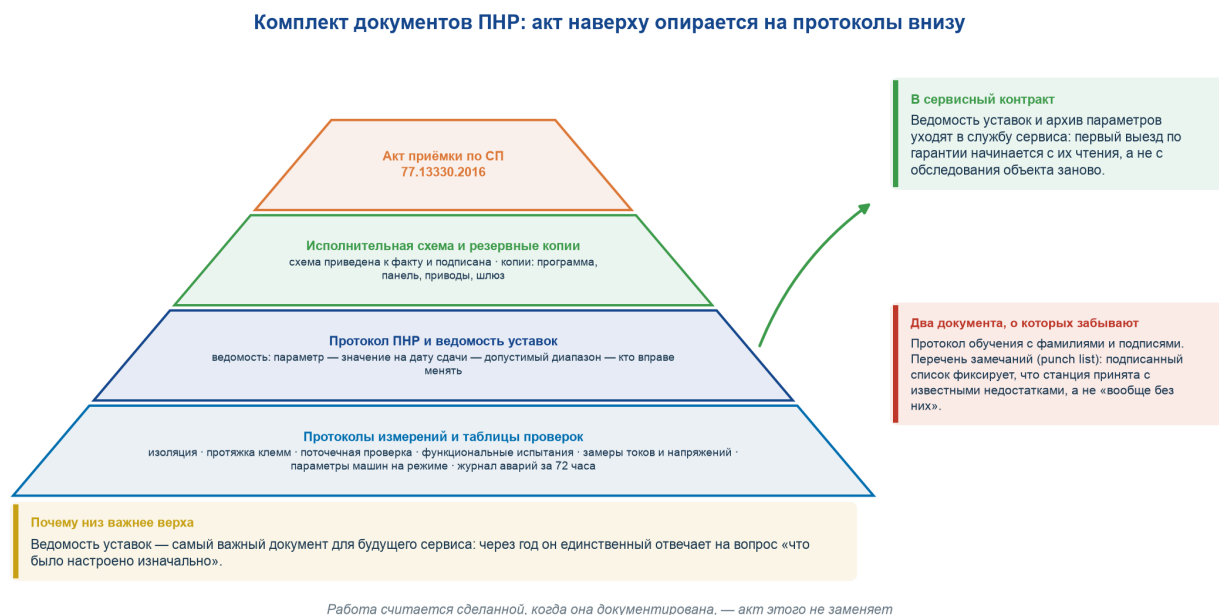
Таблица 34 Пирамида документов ПНР

Уровень	Документы
Вершина	Акт приёмки систем автоматизации в эксплуатацию (СП 77.13330.2016)
Третий	Исполнительная схема с внесёнными изменениями; резервные копии программы, панели, параметров приводов и шлюза с версиями
Второй	Протокол ПНР; ведомость уставок : параметр — значение на дату сдачи — допустимый диапазон — кто вправе менять
Основание	Протоколы изоляции и протяжки, таблицы поточечной проверки и функциональных испытаний, замеры токов и напряжений, журнал аварий за опробование
Сбоку	Протокол обучения с фамилиями; перечень замечаний (punch list) со сроками и ответственными

Протоколы электролаборатории подписывает аккредитованная лаборатория. Состав исполнительной документации — по приказу Минстроя России № 344/пр от 16.05.2023 (ред. № 369/пр от

23.06.2025); собирают её по ходу работ, а не в конце.

Рисунок 33 Акт наверху опирается на протоколы внизу, а не заменяет их



Что записать в договор и в программу испытаний:

- начало ПНР — по акту готовности объекта: постоянное питание, заполненные и опрессованные контуры, подключённые приборы, тепловая нагрузка не менее оговорённой доли, доступ и представитель с полномочиями; простой по неготовности сдвигает срок;
- приёмка — по программе функциональных испытаний с критериями результата; замечание вне программы — запрос на доработку;
- срок мотивированного отказа от подписания акта;
- длительность комплексного опробования и условия нагрузки;
- состав передаваемых документов, включая ведомость уставок и резервные копии;
- обучение: часы, численность группы, однократность, программа.

Чек-лист раздела 10: станция принята

- ☐ Протокол FAT с числами и поверенными приборами подписан до отгрузки.
- ☐ SAT выполнен: протяжка, изоляция после внешних кабелей, заземление, маркировка.
- ☐ Каждая точка прошла поточечную проверку, показания соседних датчиков сверены.
- ☐ Чередование фаз и failsafe приводов проверены на обесточенном щите.
- ☐ Защиты проверены до первого пуска машины.
- ☐ Функциональные испытания и 72 часа опробования проведены на нагрузке.
- ☐ Переданы ведомость уставок, исполнительная схема, резервные копии, punch list.

Правило прохода: акт приёмки подписывают, только когда под ним лежат все протоколы основания пирамиды.

11. Российские нормы

Норма не пишет алгоритм и не считает щит. Она задаёт, что проект обязан доказать, как его оформить и какие документы спросят на приёмке. Нормы на трубопроводы, воду и оборудование под давлением разобраны в ЭХ-АРМ003-RU «Чиллеры НСТ», раздел 12, и ЭХ-АРМ006-RU «Насосные станции, баки, водоподготовка и гликоль НСТ», раздел 11. Здесь — управление станцией, щиты и контрольно-измерительные приборы (КИП).

ВНИМАНИЕ

Статус норм. С 2022 по 2026 год сменились стандарты на щиты, на оформление документации и на внесение изменений. В таблице — редакции на дату выпуска пособия. Перед ссылкой в записке или задании на щит сверяйте статус документа: ссылка на отменённый стандарт обесценивает весь аргумент.

11.1. Карта норм

Таблица 35 Нормы для проекта автоматизации холодильной станции и щитов

Участок	Документ	Что берём в проект
Электроустановка	ПУЭ, 7-е издание: главы 1.2, 1.3, 1.7, 1.8, 2.1	Категория надёжности, токи, защитные меры, испытания, сечения
Потери напряжения	СП 256.1325800.2016	Нормы потерь напряжения в линиях
Качество электроэнергии	ГОСТ 32144-2013	Допуск напряжения в точке передачи
Щит как изделие	ГОСТ IEC 61439-1-2024 и ГОСТ IEC 61439-2-2024, с 01.04.2026	Формы разделения, превышение температуры, стойкость к КЗ, испытания
Оболочки	ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529)	Степень защиты IP
Выпуск щита в обращение	ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»; ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств»	Декларация о соответствии, знак ЕАС
Электробезопасность	ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ Р 50571.16 (IEC 60364-6)	Допустимые напряжения прикосновения; испытания электроустановки
Эксплуатация	ПТЭЭП (приказ Минэнерго России № 811 от 12.08.2022); ПОТЭЭ (приказ Минтруда России № 903н от 15.12.2020)	Допуск к работам в щите — влияет на форму разделения
Обозначения приборов	ГОСТ 21.208-2013 (взамен ГОСТ 21.404-85); ANSI/ISA-5.1-2022	Коды и позиции на функциональной схеме
Рабочая документация	ГОСТ 21.408-2013; ГОСТ Р 21.101-2026 (взамен ГОСТ Р 21.101-2020); ГОСТ Р 2.104-2023, ГОСТ Р 2.503-2023	Комплект автоматизации, основные надписи, изменения
Состав проекта	Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87	Где автоматизация на стадии П
Исполнительная документация	Приказ Минстроя России № 344/пр от 16.05.2023 (ред. № 369/пр от 23.06.2025)	Комплект «как построено»

Участок	Документ	Что берём в проект
Измерения	102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»; ГОСТ 6651-2009	Какие каналы поверяются; классы термопреобразователей
Холодильная система	ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012; 116-ФЗ	Безопасность систем и помещений; статус опасного объекта
Закупка	44-ФЗ, ст. 33; 223-ФЗ, ч. 6.1 ст. 3	Описание функциями, «или эквивалент»

ВАЖНО

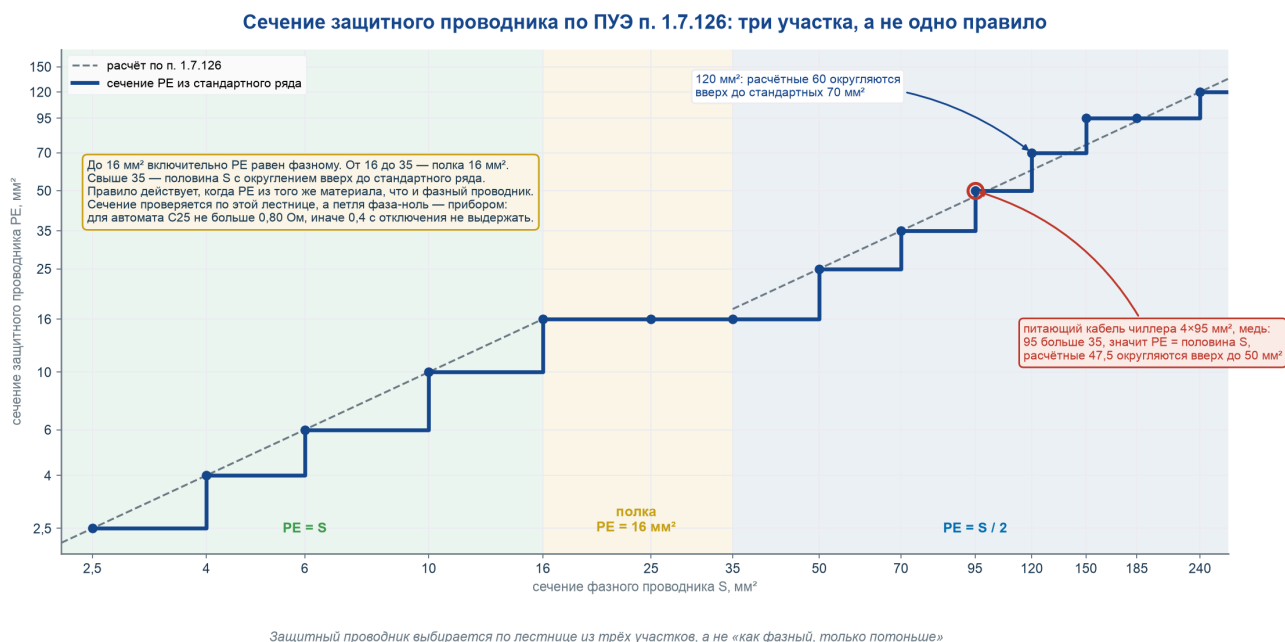
ГОСТ Р 51321.1-2007 отменён с 1 марта 2022 года (приказ Росстандарта № 816-ст). Он ещё встречается в типовых спецификациях и чужих ТЗ. Меняйте ссылку на ГОСТ IEC 61439-1-2024 и -2-2024: они идентичны IEC 61439-1:2020 и IEC 61439-2:2020. С 01.03.2024 утратили силу ГОСТ 2.104-2006 и ГОСТ 2.503-2013.

11.2. Электропитание: что из ПУЭ уходит в алгоритм

Категория надёжности — требование к программе, а не только к силовой схеме. Её задаёт потребитель холода: центр обработки данных — особая группа I категории, фармацевтика и непрерывная химия — I, пищевое производство — I или II, механообработка — II, комфортное кондиционирование — III. Для I категории в задании на автоматику записывают: уставки в энерго-независимой памяти; самозапуск после АВР (автоматического ввода резерва, ATS) с разнесением ступеней, чтобы пусковые токи не уронили резервный ввод; положение каждого привода при потере питания (failsafe position); какие аварии снимаются сами (низкое давление, реле протока при стоящем насосе), а какие ждут человека (тепловая защита компрессора — всегда). Для особой группы — источник бесперебойного питания (ИБП, UPS) на контроллер, панель и приводы клапанов (раздел 5).

Защитные меры. В машинном зале выполняют дополнительную систему уравнивания потенциалов (ПУЭ, п. 1.7.83). Система после вводного устройства — TN-S с одной точкой разделения PEN. Сечение PE по п. 1.7.126: при фазном S до 16 мм² PE равен S, от 16 до 35 мм² — 16 мм², выше 35 мм² — S/2. Кабель чиллера 4×95 мм²: 95/2 = 47,5, принимаем 50 мм².

Рисунок 34 Сечение защитного проводника по ПУЭ п. 1.7.126



Петля фаза-ноль. В системе TN при 220 В групповая цепь отключается не дольше 0,4 с (ПУЭ, табл. 1.7.1). Автомат характеристики С срабатывает мгновенно при 10 номиналах; с запасом 10 % для C25:

1. Ток КЗ: $I = 10 \cdot 25 \cdot 1,1 = 275 \text{ А}$. 2. Петля: $Z \leq 220 / 275 = 0,80 \text{ Ом}$.

Так же для C16 — 1,25 Ом, для C40 — 0,50 Ом. Эти цифры ставят в таблицу защитных аппаратов, на приёмке их сверяют с протоколом электролаборатории (раздел 10).

11.3. Щит: что записать в задание

Щит — низковольтное комплектное устройство (НКУ, LV switchgear and controlgear assembly), его характеристики подтверждает изготовитель испытаниями по ГОСТ IEC 61439. Проект задаёт, под что их подтверждать:

- **номинальные токи и ток КЗ** в точке подключения;
- **форму разделения** по ГОСТ IEC 61439-2. При форме 1 и 2 для работы с любым присоединением отключают весь щит, форма 3b и 4 позволяют заменить контактор одного насоса без останова остальных. Для непрерывных производств по нашей практике задают не ниже 3b, где простой дешевле — форму 2. Форма 4 «на всякий случай» — лишний габарит и хуже отвод тепла;
- **IP** по условиям площадки, вместе с тепловым режимом: герметичная оболочка хуже отводит тепло, и щит с частотниками в IP65 перегревается быстрее, чем в IP54. Буквы «К» в IP по ГОСТ 14254 нет — «IP69К» пришёл из автомобильного ISO 20653;
- **документы:** паспорт (токи, IP, форма разделения, заводской номер), протокол испытаний, декларация о соответствии ТР ТС 004/2011 и 020/2011, зарегистрированная в реестре. Форма подтверждения для щитов — декларирование, не сертификация.

Рисунок 35 Путь щита к знаку EAC



Знак EAC — не наклейка, а конец цепочки из документации, испытаний и зарегистрированной декларации

Работы в действующем щите ведут по наряду-допуску или распоряжению по ПОТЭЭ, оформляет их владелец установки. Если станцию нельзя останавливать целиком, форма разделения должна позволять обслуживать одно присоединение.

Рисунок 36 Чем оформляется работа в действующей электроустановке



Три ветви и одно правило: документ выбирает характер работы, а оформляет его владелец установки

11.4. Оформление: стадии П и Р

Стадия П. Отдельного раздела «Автоматизация» в постановлении № 87 нет: автоматику описывают внутри раздела по инженерному оборудованию или технологических решений — там, куда

относится контур. Достаточно состава системы, уровней управления, основных алгоритмов и принципиальной схемы.

Стадия Р — по ГОСТ 21.408-2013: функциональная схема автоматизации (ФСА), принципиальные схемы, схемы соединений и подключений, перечень точек, кабельный журнал, спецификация, задание на щит. Приборы — по ГОСТ 21.208-2013: первая буква — величина (Т, Р, F, L, Q), дальше уточняющие (D — разность) и функциональные (I, R, C, A, S, H, L). Если схема машины пришла по ISA-5.1, в записку кладут таблицу соответствия кодов: в ISA номер — это контур регулирования, в ГОСТ — позиция по спецификации.

Исполнительный комплект по приказу № 344/пр собирают по ходу работ: документация с отметками о соответствии, акты скрытых работ на трассы и заземление, протоколы электролаборатории, паспорта и декларации, ведомость уставок, протокол пуска наладки. Форму ведомости уставок и программу функциональных испытаний закладывают в проект сразу (раздел 10).

11.5. Метрология: где нужна поверка

По 102-ФЗ поверка обязательна только в сфере государственного регулирования: коммерческий учёт (расчёты по показаниям тепла и холода, расчёты арендатора с собственником) и средства измерений в противоаварийной защите опасных производственных объектов. Технологические датчики контура в эту сферу не входят — им нужна калибровка.

Признак регулируемого канала — слова «оплата» или «расчёт по показаниям прибора» в договоре или ТЗ. Такие каналы выделяют в спецификации и требуют прибор утверждённого типа. Результат поверки — запись в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений; межповерочный интервал берут из описания типа.

11.6. Промышленная безопасность и аммиак

Статус опасного производственного объекта по 116-ФЗ ГИП определяет со службой промышленной безопасности заказчика до стадии П: от него зависит, какие каналы уйдут в противоаварийную защиту. По ГОСТ EN 378-2014 и ГОСТ 12.2.233-2012 помещение с машиной получает контроль утечки хладагента и вентиляцию по расчёту, а заправку указывают в записке. В мировой практике для аммиака обязателен ASHRAE Standard 15.

Для КИП аммиачной станции: смачиваемые части датчиков и гильз — только нержавеющая сталь, медь, латунь и бронза недопустимы. На низкой стороне — датчики абсолютного давления, типовые диапазоны –1...+10 бар на низкой и 0...25 бар на высокой стороне.

ВНИМАНИЕ

Чего здесь нет. Пункты федеральных норм и правил для аммиачных холодильных установок и требования к противоаварийной защите не приводятся: их выписывают по действующей редакции вместе со службой промышленной безопасности заказчика.

Чек-лист раздела 11: российские нормы

- ☐ Нет ссылок на ГОСТ Р 51321.1-2007, ГОСТ 21.404-85, ГОСТ 2.104-2006, ГОСТ 2.503-2013; редакции сверены перед выпуском.
- ☐ Из категории надёжности в задании следуют самозапуск, энергонезависимые уставки, failsafe приводов и правила квитиования.
- ☐ РЕ проверены по ПУЭ п. 1.7.126, допустимая петля указана для каждого аппарата.

- ☐ Предусмотрено дополнительное уравнивание потенциалов машзала.
- ☐ В задании на щит: токи, ток КЗ, форма разделения, IP вместе с тепловым режимом, декларация ТР ТС.
- ☐ Комплект Р — по ГОСТ 21.408-2013, приборы — по ГОСТ 21.208-2013, для схем по ISA есть таблица соответствия.
- ☐ Каналы коммерческого учёта и противоаварийной защиты выделены и требуют поверки.
- ☐ Для аммиака подтверждён статус по 116-ФЗ и указан материал смачиваемых частей.

Правило прохода: пустой пункт — раздел на экспертизу не идёт.

12. Самопроверка

Раздел собран из разборов отказов на действующих станциях. Почти каждый отказ, который на объекте называют «плохой автоматикой», заложен в проекте: не хватило места, резерва, трассы или одной строки в алгоритме. На стадии проекта такая ошибка исправляется правкой листа, после монтажа — остановкой станции.

12.1. Типичные ошибки проекта автоматики станции

Таблица 36 Типичные ошибки проекта автоматики холодильной станции

Ошибка	Чем грозит	Как правильно
Контроллер подобран точно под число точек	Первый же новый сигнал — новый модуль и остановка щита	Резерв 20 % каждого типа входов-выходов, минимум 2 на тип: 144 рабочие точки дают 174
Щит без резерва места и клемм	Работа «на час» становится перекомпоновкой шкафа	20 % клемм (минимум 10 на группу), непрерывный свободный участок рейки, 20 % кабельных вводов, блок питания 24 В с запасом 30 %
Щитовая без места и вентиляции	Летом приводы и контроллер уходят в защиту	Зона обслуживания перед щитом 1,0–1,2 м (точное значение — по действующей редакции ПУЭ); теплоотвод 2–4 % мощности приводов: 200 кВт дают 4–8 кВт тепла
IP «чем больше, тем лучше» без теплового расчёта	Перегрев герметичного щита, конденсат на электронике	IP по среде, охлаждение и IP выбирать вместе; датчик температуры в щите с предупреждением при 40 °C и аварией при 50 °C
Сигнальный кабель в лотке с кабелем частотника	«Скачущие» показания, которые ищут месяцами	Раздельные трассы, 200–300 мм при параллельной прокладке, пересечение под 90°, экран заземлён в одной точке со стороны щита
Наружные линии без защиты от перенапряжений	После грозы выгорают входы модулей и уличные датчики	Устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) на каждой линии, выходящей из здания; на длинных — гальваническая развязка
Уличный датчик с вводом сверху и низким IP	Сигнал пропадает после каждого дождя	На градирне — не ниже IP65, головка вне зоны брызгоуноса, кабель подходит снизу с петлёй
Накладной датчик вместо гильзы, нет прямых участков	Ошибка 1–3 K на перепаде 5 K; расходомер врёт на десятки процентов	Гильза с пастой на каждую точку жидкости; расходомер на обратке, 10 D до и 5 D после: для DN150 это 1,5 и 0,75 м
Реле протока на общем коллекторе	Машина видит чужой расход или не видит своего	Реле на трубопроводе каждой машины; контакт замыкается при потоке, обрыв = «нет протока»
Защиты только в программе или по шине	Зависший контроллер снимает защиту испарителя	Реле протока и блок-контакт насоса — проводом в цепь безопасности машины; по шине — только данные
Не описано поведение при потере питания и связи	Станция не поднялась после отключения или встала из-за сбоя диспетчерской	Автозапуск после восстановления питания; при потере связи — работа на локальных уставках; failsafe каждого привода в схеме
Малый объём контура без буфера	Тактование машин, ресурс компрессора уходит	Минимальный объём около 24 л на 1 кВт минимальной ступени (6 пусков в час, зона нечувствительности 2 K)

Ошибка	Чем грозит	Как правильно
ТЗ «полная автоматизация без участия оператора»	Объём работ не ограничен, приёмка превращается в переговоры	Алгоритм (sequence of operation) с перечнем точек, таблицей уставок, поведением при отказах и программой испытаний
В спецификации нет строк щитов насосных групп, реле протока, кабелей	На приёмке выясняется, что узел не заказан никем	Граница поставки по каждому узлу отдельной строкой, включая кабели между щитом и оборудованием

Рисунок 37 Щит в жару: датчик у двери показывает 32 °С, над приводами уже 52 °С



Датчик внизу щита показывает комфортные 32 °С, когда сверху 52 °С и привод уже сбрасывает нагрузку

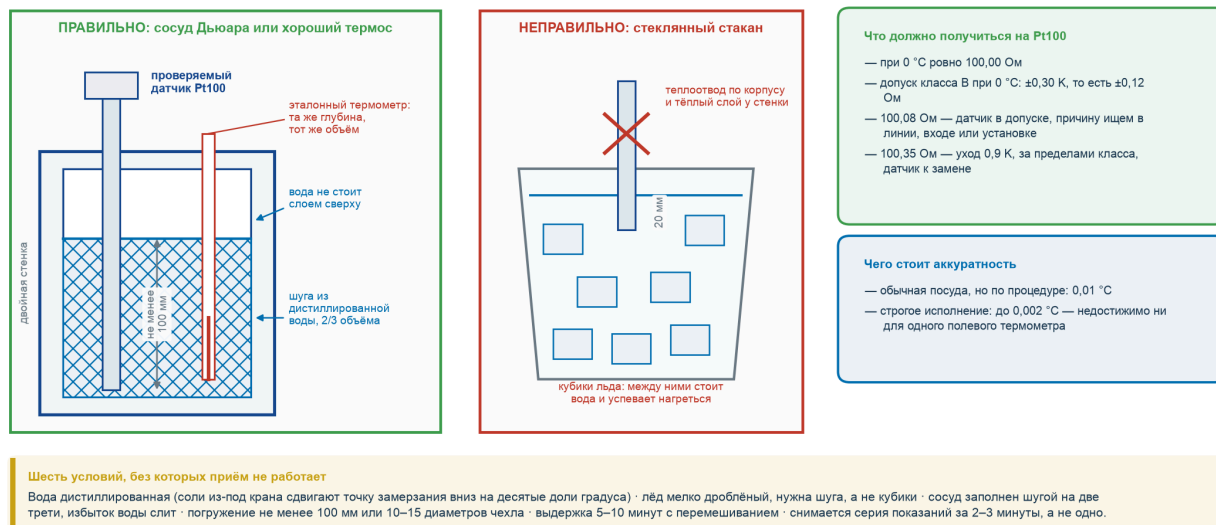
ПРИМЕЧАНИЕ

Почему тактование — вопрос проекта. Время работы ступени $t = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T / Q$. Станция с минимальной ступенью 75 кВт, зоной нечувствительности 2 К и ночной нагрузкой 40 кВт: при объёме контура 3 м³ работа $3 \cdot 1000 \cdot 4,19 \cdot 2 / (75 - 40) = 718$ с, пауза $25 \cdot 140 / 40 = 629$ с — 2,7 пуска в час. При 0,8 м³ цикл сокращается до 6 минут — 10 пусков в час, на границе паспорта компрессора. Настройкой это не лечится, лечится буферной ёмкостью.

12.2. Частые вопросы проектировщиков

Нужна ли поверка датчикам температуры и давления станции? Нет, если по их показаниям никто не платит и они не входят в противоаварийную защиту опасного объекта (раздел 11.5). Технологическим каналам нужна калибровка: например, датчик Pt100 в ледяной точке должен показать 100,00 Ом, допуск класса В при 0 °С — ±0,30 К. Заложите в проект возможность вынуть датчик из гильзы без опорожнения контура.

Ледяная точка на объекте: как получить достоверный ноль без лаборатории

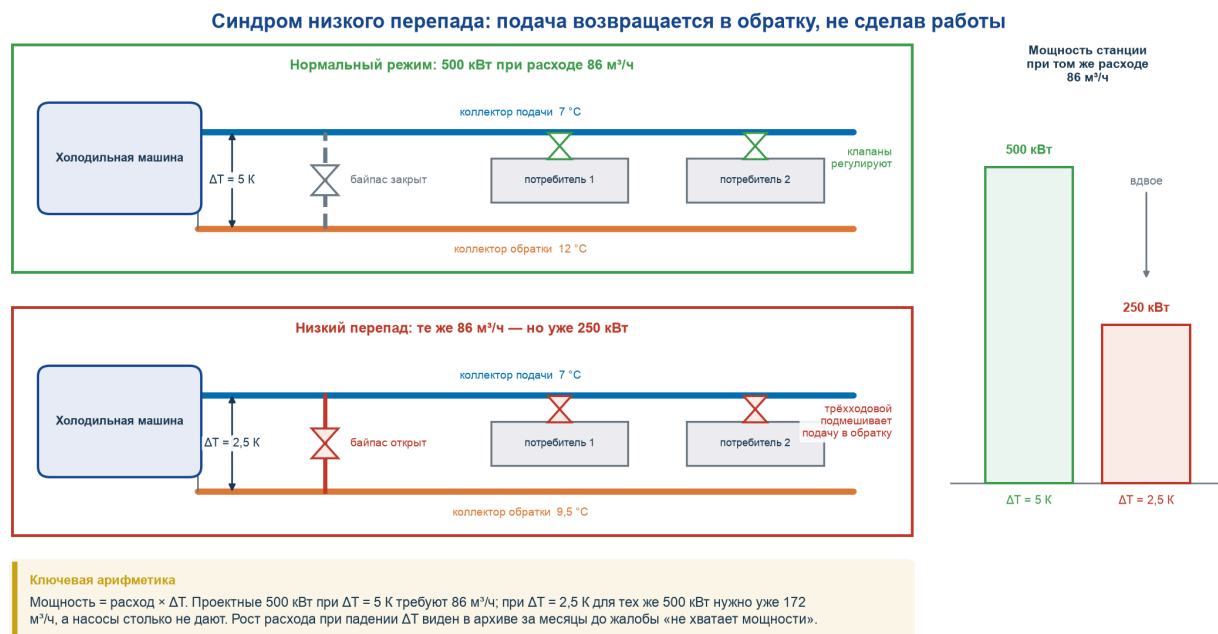


Ледяная точка честнее любого полевого термометра — если вода дистиллированная, лёд мелкий, а погружение глубокое

Какую форму разделения щита задавать? По цене простота потребителей. Если нужно обслуживать один насос, не останавливая остальные, — не ниже 3b. Если станцию допустимо остановить на время ремонта — форма 2. Более высокая форма увеличивает габарит и ухудшает отвод тепла.

Зачем станции свой расходомер и счётчик, если на заводе есть общий учёт? Доля холода в потреблении предприятия — от 10 до 40 %, задним числом её не выделить. Без расхода и перепада не виден синдром низкого перепада: при ΔT 2,5 К вместо 5 К те же 86 м³/ч несут 250 кВт вместо 500, и станция «не даёт мощности» при исправных машинах.

Рисунок 39 Синдром низкого перепада: тот же расход несёт вдвое меньше холода



Каждый открытый байпас — это минус киловатты при полностью работающих машинах

Можно ли передавать защиты по Modbus или BACnet? Нет. По цифровой шине идут данные и уставки. Реле протока, реле перепада и блок-контакт насоса заводят проводом в цепь безопасности машины: защита не должна зависеть от контроллера станции и от линии связи.

Места под прямой участок расходомера нет. Поставить накладной ультразвуковой? Нет: на плохой гидравлике он ошибается на десятки процентов, а решения будут принимать по его показаниям. Перекомпонуйте узел, найдите другое сечение контура или письменно зафиксируйте, что расход не измеряется.

Сколько резерва входов-выходов требовать, если бюджет режут? 20 % каждого типа и не меньше двух точек — ориентир открытых сводов проектных требований к интегрированной автоматизации. Резерв ниже 15 % съедается на самой пусконаладке; разница в комплектации — один-два модуля расширения.

Как в проекте задать, что видно на тренде через год? Архивом: какие точки, с каким шагом и какой глубины. По архиву тактование, низкий перепад, загрязнение теплообменника и деградация датчика узнаются за минуты без выезда — если эти точки в нём есть.

Чем подтверждается, что щит соответствует требованиям? Паспортом, протоколом испытаний по ГОСТ IEC 61439 и зарегистрированной декларацией о соответствии ТР ТС 004/2011 и 020/2011. Номер декларации и протокола проверяют при приёме. Знак ЕАС есть на шильде или в паспорте.

12.3. Сводный чек-лист проекта автоматики станции

- ☐ Категория надёжности выписана и переведена в требования к алгоритму: самозапуск, энерго-независимые уставки, ИБП для I категории.
- ☐ Есть алгоритм (sequence of operation): перечень точек, таблица уставок, режимы, пуск и останов, ступени и ротация, блокировки, отказы, аварии, обмен, программа испытаний.

- ☐ Для каждой уставки указан единственный источник: панель станции, контроллер машины или диспетчеризация.
- ☐ Каждой точке на ФСА соответствует гильза, отбор, бобышка или прямой участок на технологической схеме.
- ☐ Реле протока стоит на трубопроводе каждой машины, прямые участки под него и под расходомер нарисованы.
- ☐ Защиты выполнены аппаратно и разделены на останавливающие и сигнализирующие.
- ☐ Для каждого привода записано положение при потере питания.
- ☐ Описано поведение при отказе датчика, потере связи с диспетчеризацией и восстановлении питания.
- ☐ Объём контура проверен на число пусков; при необходимости заложена буферная ёмкость.
- ☐ Резерв контроллера — 20 % каждого типа, минимум 2; резерв клемм, рейки и вводов — 20 %; блок питания 24 В — с запасом 30 %.
- ☐ Место под щит, зона обслуживания и тепловой режим щитовой отражены в архитектурных и вентиляционных решениях.
- ☐ IP щитов и датчиков выбран по среде вместе со способом охлаждения; в щите есть датчик температуры.
- ☐ Силовые и сигнальные трассы разделены, в лотках 30 % резерва, между машзалом, щитовой и диспетчерской заложены пустые трубы.
- ☐ Наружные линии защищены УЗИП.
- ☐ Журнал аварий — в энергонезависимой памяти, не менее 500 событий, с записью пропадания питания и синхронизацией времени.
- ☐ Карта обмена с системой заказчика согласована: протокол, кто мастер, что передаётся, что принимается как команда.
- ☐ В задании на щит: токи, ток КЗ, форма разделения, IP, комплект документов и декларация ТР ТС.
- ☐ Каналы коммерческого учёта и противоаварийной защиты выделены и требуют поверки.
- ☐ Граница поставки расписана по каждому узлу, включая кабели и щиты насосных групп.
- ☐ Ссылки на нормы сверены с действующими редакциями (раздел 11).

Правило прохода: проект с пустым пунктом из первых восьми на выпуск не идёт — эти ошибки после монтажа исправляются только остановкой станции. Остальные пункты допускается закрыть до заказа щита, но не позже.

13. Наши объекты

Щиты и шкафы автоматики «Энергия Холода» выпускает сама, наравне с градирнями, чиллерами, насосными группами и драйкулерами NCT. Master-щит объединяет компрессоры, конденсаторы, испарители, насосные группы, вентиляторы и регулирующую арматуру в единый контур управления с диспетчеризацией. По нашим материалам он применяется на холодильных складах и в логистике, на пищевых и фармацевтических производствах, в агропромышленных комплексах и торговых сетях.

В поставку автоматики станции входят собственные щиты и контроллеры, Master-щит, интеграция с системами заказчика по Modbus RTU, Modbus TCP, OPC UA и сухими контактами, веб-мониторинг и уведомления об авариях. Точность поддержания температуры — $\pm 0,1$ °C при частотном приводе и ПИД-регулировании и $\pm 1-2$ °C при релейном управлении.

Скажем прямо: в референс-листе NCT 2026 года объекты перечислены по основному оборудованию — градирням, чиллерам, испарительным конденсаторам — и поставка автоматики по объектам там не указана. В таблицу вошли только случаи, где в наших материалах прямо названы щит, частотный привод, Master-щит или автоматика станции. Их немного.

Таблица 37 Объекты, где прямо названа поставка автоматики NCT

Отрасль	Объект	Что поставили	Задача
Производство пластика	Предприятие по производству пластика, 2025 год	Драйкулер около 740 кВт, насосная группа со щитом и частотным приводом, Master-щит станции, пусконаладка	Технологическое охлаждение; монтаж заказчик взял на себя, граница поставки зафиксирована
Алюминиевый профиль	«Татпроф», Набережные Челны	Насосная группа NCT PU (рабочий и резервный насос) со щитом и частотным преобразователем, сборный бак 4,5 м ³	Технологическое охлаждение: насосы, запас воды и автоматика одной поставкой
Технологическое охлаждение электролита	Промышленный объект (отрасль в наших материалах не названа)	Автоматика станции; в неё дополнительно заведены насосы потребителя и радарный датчик уровня в баке градирни	Охлаждение электролита; узлы, которые изначально не были в автоматике, подключены за счёт резерва точек

Рисунок 40 Щиты автоматики NCT на объекте: шкафы управления на подставках, кабели заведены снизу из лотков



Что из этих объектов полезно проектировщику.

- Насосная группа со своим щитом и частотным преобразователем оставляет в проекте три точки подключения: всасывающий и нагнетательный патрубки и питание щита. Автоматика насосной группы подробно разобрана в ЭХ-АРМ006-RU, раздел 10.
- Когда заказчик монтирует сам, решает не объём поставки, а точная граница: какой щит, какие кабели и какие работы в неё входят. Это записывают в опросный лист и спецификацию (раздел 3).
- На объекте с электролитом резерв входов пригодился уже после пуска: насосы потребителя и уровнемер градирни добавили без перекомпоновки щита. Это и есть 20 % резерва из раздела 12.1.

Что есть в наших материалах, но в таблицу не вошло.

- Проект холодоснабжения молочного производства с абсорбционной машиной включал отдельный раздел автоматизации холодоснабжения (АХС) рядом с ХС и ЭМ. Кто выполнял и поставлял автоматику, в источнике не сказано.
- В холодильном центре 2026 года с абсорбционной машиной и насосными группами заказчик на приёмке задал вопрос, учтены ли щиты насосных групп и станций подпитки. Это урок про границу поставки (раздел 12.1), а не подтверждённая поставка щитов.
- Чиллеры NCT поставляются с собственным щитом и программируемым контроллером на раме. Это автоматика машины, она разобрана в ЭХ-АРМ003-RU, раздел 11; стационарной автоматикой её не считаем.

Если нужен пример в вашей отрасли или на похожей схеме станции, укажите это в опросном листе (раздел 3): подберём объект и покажем, как там решены щиты, перечень точек и связь с

диспетчерской.

Следующий шаг

Пришлите опросный лист и исходные данные из раздела 3. Мы выдадим перечень сигналов, карту регистров и функциональную схему станции, а готовый раздел проверим до экспертизы. Всё это бесплатно.

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

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

Словарь терминов

Термин	Что значит
Master-щит, щит автоматического управления станцией	Щит, который объединяет машины, насосы, вентиляторы и арматуру станции и ведёт каскад, резерв, ротацию и общую аварию
Полевой уровень (field level)	Датчики, реле, приводы и частотные преобразователи — всё, что касается воды, воздуха и хладагента
Диспетчерский уровень (supervisory, SCADA)	Рабочее место оператора, архив и шлюз в систему здания; показывает и пишет историю, но не управляет защитами
Жёсткая проводка (hardwired)	Передача сигнала защиты отдельной цепью, мимо цифровой шины и программы верхнего уровня
Перечень сигналов (I/O list)	Таблица всех точек ввода-вывода контроллера: тип, диапазон, участие в блокировке
Живой ноль (live zero)	Нижняя граница сигнала 4 мА; ток ниже 3,6 мА контроллер читает как обрыв линии
Гильза (thermowell)	Защитная трубка в трубопроводе, позволяющая менять датчик температуры без слива контура
Авторитет клапана (valve authority)	Доля перепада на полностью открытом клапане от перепада на всём регулируемом участке
Безопасное положение (failsafe position)	Положение привода при потере питания или сигнала
Реле протока (flow switch)	Дискретный датчик наличия потока, звено цепи безопасности машины
НКУ	Низковольтное комплектное устройство — щит как изделие со своими испытаниями по ГОСТ IEC 61439
Форма разделения (form of separation)	Насколько внутри щита отделены шины, функциональные единицы и клеммы
Петля фаза-ноль	Сопротивление цепи короткого замыкания; по нему проверяют, что автомат отключит повреждение вовремя
Коэффициент спроса (demand factor)	Отношение расчётной мощности к установленной
Зона нечувствительности (dead band)	Интервал вокруг уставки, внутри которого автоматика ничего не делает
Задержка ступени (staging delay)	Сколько условие должно держаться без перерыва, прежде чем машину введут или выведут
Таймер «пуск — пуск» (anti-recycle timer)	Минимальный интервал между пусками одной машины
Синдром низкого перепада (low delta-T syndrome)	Перепад температур устойчиво ниже проектного, отчего растут расход и число работающих машин
Сброс уставки (setpoint reset)	Автоматический сдвиг уставки по нагрузке или по положению клапанов
Алгоритм работы (sequence of operation)	Документ, описывающий режимы, ступени, блокировки и поведение станции при отказах
Карта регистров (register map)	Таблица адресов, типов данных, масштабов и прав доступа для обмена по Modbus
FAT (factory acceptance test)	Заводские приёмочные испытания щита до отгрузки
SAT (site acceptance test)	Приёмка щита на объекте после монтажа

Список литературы

1. «Энергия Холода». Master-щит — центр управления всей системой холодоснабжения — листовка.
2. «Энергия Холода». Опросный лист на разработку АСУ (ПО).
3. «Энергия Холода». Референс-лист НСТ, 2026.
4. ПУЭ, 7-е изд.
5. ГОСТ IEC 61439-1-2024, ГОСТ IEC 61439-2-2024 (IEC 61439-1/-2:2020); ГОСТ Р 51321.1-2007 — отменён.
6. ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529); IEC 60890; IEC 60364-5-52; IEC 60947-4-1; IEC 61800-3; IEC 60034-25; IEC 62423.
7. ГОСТ 32144-2013; СП 256.1325800.2016; ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ Р 50571.16.
8. ТР ТС 004/2011; ТР ТС 020/2011.
9. ГОСТ 21.208-2013; ГОСТ 21.408-2013; ГОСТ Р 21.101; ГОСТ 2.701-2008; ГОСТ 2.702-2011; ANSI/ISA-5.1.
10. СП 77.13330.2016 «Системы автоматизации».
11. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87.
12. 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»; ГОСТ 6651-2009 (IEC 60751).
13. ГОСТ EN 378-2014; ГОСТ 12.2.233-2012; 116-ФЗ.
14. ПТЭЭП (приказ Минэнерго России от 12.08.2022 № 811); ПОТЭЭ (приказ Минтруда России от 15.12.2020 № 903н).
15. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3; Modbus over Serial Line V1.02; TIA/EIA-485-A.
16. ANSI/ASHRAE Standard 135 (BACnet); IEC 62541 (OPC UA).
17. IEC 62443-3-2, IEC 62443-3-3; 187-ФЗ; приказы ФСТЭК России № 31 и № 239.
18. ASHRAE Guideline 36 «High-Performance Sequences of Operation for HVAC Systems»; ASHRAE Guideline 0, 1.1, 11.
19. IEC 60534-2-1.
20. «Энергия Холода». Руководства для инженеров ЭХ-АРМ001-RU ... ЭХ-АРМ006-RU, 2026.



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

Санкт-Петербург · nc-t.ru · colden.ru

Подбор оборудования 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-АРМ007-RU (октябрь 2026). Материал для проектировщиков, распространяется свободно. Рабочие параметры для проекта — по техническому предложению на конкретную модель.