

# Проектирование станций охлаждения

## для установок индукционного нагрева металлов

**В статье рассмотрены особенности водяного охлаждения для установок индукционного нагрева металлов токами повышенной частоты, в состав которых, кроме станций охлаждения, входят статические преобразователи частоты контура нагрузки с конденсаторными батареями и индукторами. Рассмотрены основные элементы гидравлической схемы типовой станции охлаждения для индукционной установки повышенной частоты. Приведены технические данные разработанных станций охлаждения типа ПАРАЛЛЕЛЬ СО для промышленного использования совместно с преобразователями повышенной частоты типа ПАРАЛЛЕЛЬ различной мощности и частоты.**

**Зинин Юрий**

umz42@mail.ru

**Мульменко Михаил**

mulmenko@prl.ru

### Введение

Производительная, безопасная и эффективная работа технологических промышленных установок, в том числе и индукционных для нагрева металлов, требует применения современного оборудования, к которому относятся, прежде всего, полупроводниковые преобразователи частоты (ППЧ) и станции обратного водяного охлаждения (СО).

Технология индукционного нагрева металлов требует большого расхода воды для охлаждения индукционных установок, в составе которых обычно рассматривают не только источники питания повышенной частоты (сейчас это в основном статические полупроводниковые преобразователи), но и контуры индукционной нагрузки с компенсаторами реактивной мощности (электротермическими конденсаторами) и специальными водоохлаждаемыми индукторами [1].

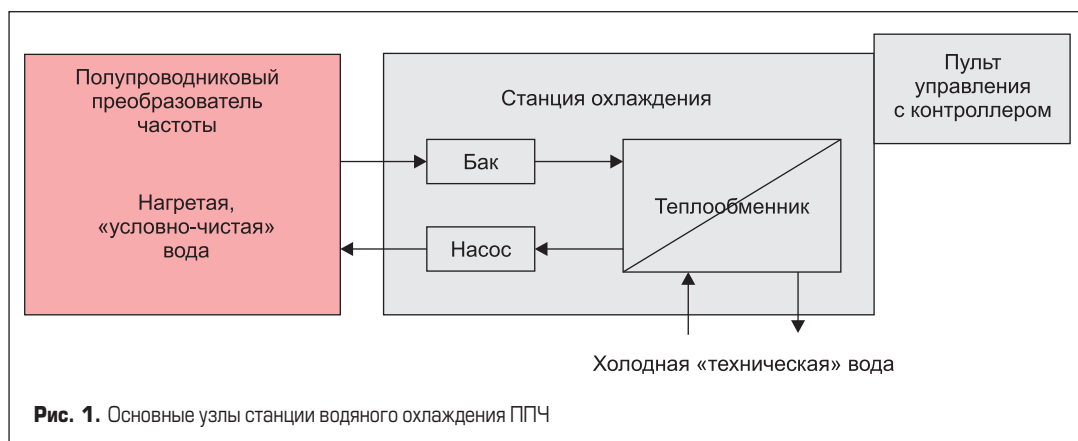
Элементы системы охлаждения индукционных установок ранее встраивались непосредственно в источник питания высокой частоты. В системе охлаждения применялась техническая вода с простейшими фильтрами. Такая вода цеховой сети в больших количествах охлаждалась централизованными градир-

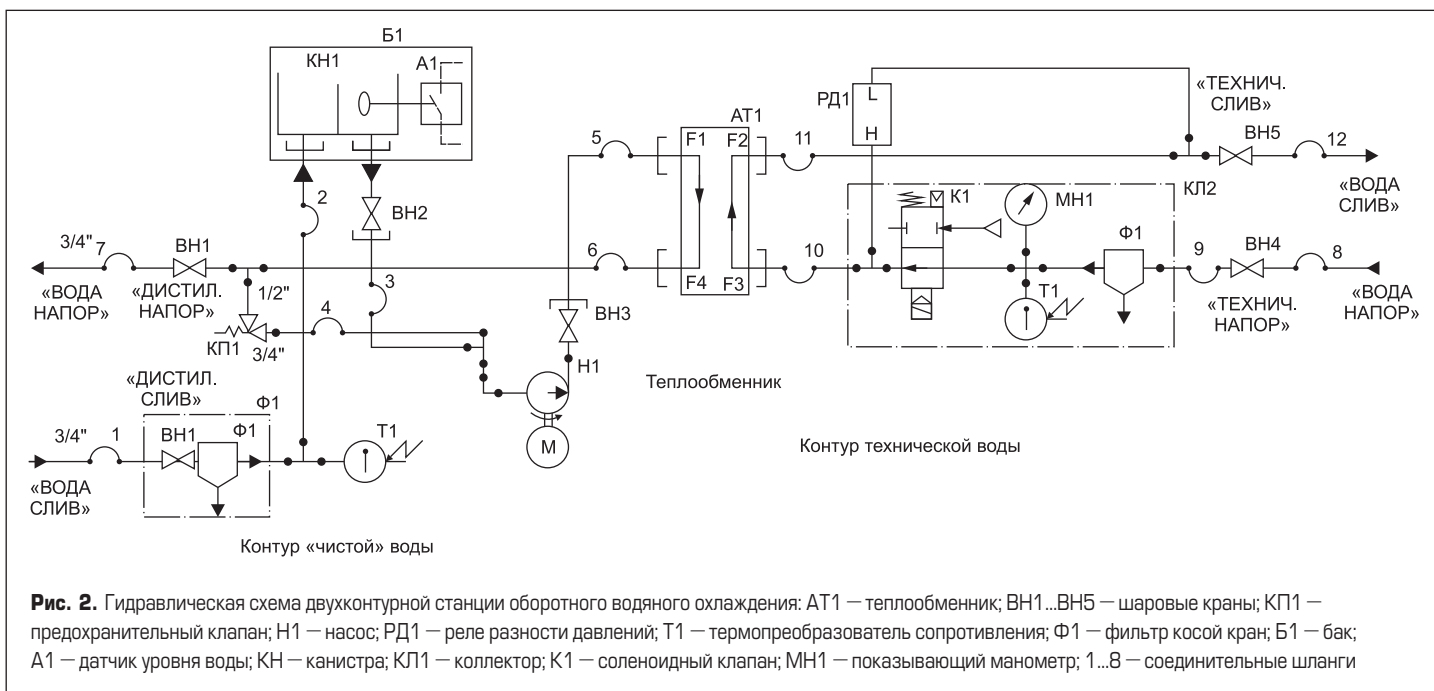
нями предприятия. Однако применение для охлаждения электротехнического оборудования обычной технической воды сокращает срок эксплуатации ТПЧ из-за электролиза металлических частей.

В настоящее время для охлаждения ТПЧ, как правило, используются замкнутые (оборотные) системы водяного охлаждения с «условно чистой» деионизированной или дистиллированной водой, которые повышают надежность эксплуатации технологического оборудования. Такие системы применяются для охлаждения силовых цепей индукционных установок и тогда, когда цеховая вода не отвечает требованиям по жесткости, давлению, температуре или чистоте.

### Проектирование системы обратного водяного охлаждения

В настоящее время качество проектирования установок индукционного нагрева и статических преобразователей частоты во многом определяют системы водяного охлаждения. В них широко применяются специальные станции охлаждения, являющиеся конструктивно самостоятельными единицами электротермического оборудования.





**Рис. 2.** Гидравлическая схема двухконтурной станции оборотного водяного охлаждения: АТ1 — теплообменник; ВН1...ВН5 — шаровые краны; КП1 — предохранительный клапан; Н1 — насос; РД1 — реле разности давлений; Т1 — термопреобразователь сопротивления; Ф1 — фильтр кривой кран; Б1 — бак; А1 — датчик уровня воды; КН — канистра; КЛ1 — коллектор; К1 — соленоидный клапан; МН1 — показывающий манометр; 1...8 — соединительные шланги

Работа элементов и узлов установок индукционного нагрева сопровождается значительными потерями электрической мощности и выделением большого количества тепловой энергии, которая требует постоянного отвода тепла с помощью интенсивного водяного охлаждения.

Системам охлаждения мощных и высокочастотных преобразователей, работающим в установках индукционного нагрева, следует уделять значительное внимание. К сожалению, литературы посвященной этому вопросу недостаточно [1–3]. На рис. 1 показаны основные узлы станции оборотного водяного охлаждения ППЧ.

Двухконтурная гидравлическая схема системы оборотного водоохлаждения состоит из двух независимых контуров: рабочего контура и контура охлаждения. Она используется при изменяющемся расходе воды в рабочем контуре и при наличии разрыва струи на выходе из охлаждаемого оборудования. Тепловой баланс системы, определяемый расходом воды в системе охлаждения, рассчитывается из тепловой нагрузки рабочего контура и охлаждающей способности теплообменника.

От пульта управления СО, на котором размещен технологический контроллер, производятся программирование и визуальный контроль температуры воды для ручного или автоматического управления электромагнитным клапаном подачи воды внешнего контура, а также ручное включение и отключение насоса станции охлаждения. Гидравлическая схема станции оборотного охлаждения представлена на рис. 2.

На входе в теплообменник, со стороны технической воды, установлен электромагнитный клапан К1, который открывается по сигналу цепи реле исполнительного реле контроллера А1. Если температура воды на входе во внутренний контур станции (слив) превышает уставку Т1 (27 °С), загорается световой ин-

дикатор пульта «ТЕХ.ВОДА ПЕРЕГРЕВ», клапан открывается и внешняя техническая вода охлаждает воду внутреннего контура.

Если температура на входе во внутренний контур снижается до 26 °С, клапан закрывается. Благодаря такой схеме терморегулирования, из водопровода потребляется строго необходимое количество воды.

Станция охлаждения снабжена реле перепада давлений SP1, контролирующим перепад давления на теплообменнике со стороны внешнего контура. Этот перепад отражает расход технической воды через теплообменник. При уменьшении перепада давления ниже уставки 0,05 МПа загорается световой индикатор «ТЕХ.ВОДА НЕХВАТКА» на пульте управления станцией.

Станция охлаждения снабжена измерительными приборами, предназначенными для визуального контроля нормальной работы. Манометр КЛ2-МН1 показывает давление на выходе из фильтра технической воды, он обеспечивает контроль состояния фильтра гидравлической схемы.

Термопреобразователи сопротивления Т1 и КЛ1-Т1 являются датчиками температуры воды на выходе охлаждаемого изделия и на входе технической воды внешнего контура. Контроллер А1 на цифровом табло отображает обе из вышеназванных температур либо их уставки, при достижении которых срабатывают соответствующие реле этого прибора.

Насос Н1 подает прошедшую через теплообменник АТ1 воду в охлаждаемое оборудование. По другому контуру станции, через теплообменник, под давлением внешнего водопровода протекает техническая вода, причем направление ее прохождения через теплообменник противоположно направлению движения дистиллированной воды.

Переключатель SA2 предназначен для открытия клапана К1 во время проведения про-

филактических работ на станции охлаждения (продувка, проверка). На рис. 3 показаны элементы конструкции станции охлаждения типа ПАРАЛЛЕЛЬ СО-60.

Шкаф СО показан в процессе монтажа узлов, со снятыми стенками. В состав станции охлаждения входят теплообменник, где дистиллированная вода внутреннего контура охлаждается технической водой внешнего контура, электрический насос и бак, в котором установлен датчик уровня воды, замыкающий цепь питания индикатора уровня на пульте управления.

Станция охлаждения выполнена в унифицированном с ППЧ металлическом шкафу. Контур дистиллированной воды внутреннего контура, сделанный из коррозионностойких материалов, содержит бак, насос, теплообмен-



**Рис. 3.** Элементы конструкции станции охлаждения ПАРАЛЛЕЛЬ СО-60.

ник и аппаратуру контроля (термометры, манометры, термореле, реле уровня воды).

В основном исполнении станции охлаждения патрубки подачи и слива воды обоих контуров установлены попарно на цоколе шкафа с противоположных сторон. В типовом исполнении подвод шлангов выполнен через дно шкафа, поэтому патрубки обоих контуров находятся внутри шкафа и направлены отверстиями вниз. Бак размещен в верхней части шкафа. В баке установлен датчик уровня, замыкающий цепь питания индикатора уровня на пульте управления. В случае недопустимого снижения уровня воды в баке гаснет соответствующий индикатор на пульте управления.

Чтобы избежать загрязнения каналов теплообменника, техническая вода подается через сетчатый фильтр. На его выходе давление контролируется манометром, а температура термосопротивлением. Реле разности давлений контролирует перепад давления на теплообменнике. В случае, когда уменьшается перепад давления из-за отложений в фильтре, загорается световой сигнализатор. Контроль воды во внутреннем контуре системы охлаждения осуществляется электронным реле уровня.

Бак внутреннего контура заполняется дистиллированной водой с удельным электрическим сопротивлением не менее 200 кОм·см. Если температура дистиллированной воды во время работы превысит паспортные значения, то это может быть вызвано засорением фильтра в контуре технической воды либо неисправностью электромагнитного клапана, термосопротивления RK1 или контроллера A1 на пульте управления. При техническом обслуживании СО дистиллированную воду необходимо заменять при снижении удельного сопротивления ниже 20 кОм·см, а также в профилактических целях не реже одного раза в год.

Дистиллированная вода в РФ нормируется по ГОСТу 6709-72 «Вода дистиллированная». Для деионизированной («почти дистиллированной») воды удельная электропроводность составляет менее 5 мкСм/см (для категории 3 по ОСТ 11.029.003.-80). Присоединение к внешнему трубопроводу выполняется через отдельный вентиль внутренним диаметром не менее 25мм. В шлангах и трубопроводах не допускается образования воздушных пробок.

Контур технической воды, помимо теплообменника, содержит фильтр, реле давления, термопреобразователь и электромагнитный клапан, открываемый сигналом микропроцессорного измерителя-регулятора. Потребление воды из внешней системы водоснабжения автоматически регулируется в зависимости от фактической мощности тепловыделения в охлаждаемом объекте, вплоть до полного прекращения потребления воды. При этом автоматически стабилизируется температура охлаждаемого объекта. Это предотвращает выпадение конденсата и, следовательно, ухудшение изоляции в электрической части оборудования.

Температура окружающей среды для исполнения УХЛ4 должна находиться в диапазоне +5...+35 °С, а (относительная влажность окружающего воздуха не должна превышать 80% при +25 °С.

Окружающая среда должна быть невзрывоопасная, она не должна содержать агрессивные газы и примеси, разрушающие изоляцию и металлы.

К настоящему времени конструкция и основные узлы СО уже прошли естественный отбор, что позволяет эффективно использовать их в новых разработках, которые удешевляют оборудование и обеспечивают его надежную работу.

### Параметры и технические данные станций охлаждения типа ПАРАЛЛЕЛЬ СО

Научно-Производственное Объединение ПАРАЛЛЕЛЬ (г. Уфа) свыше двадцати лет проектирует и производит станции охлаждения типа ПАРАЛЛЕЛЬ [4]. Требования к экономической эффективности насосного оборудования и надежности его работы постоянно повышаются, поэтому в последних изделиях используются новые, более экономичные насосы, теплообменники и фильтры.

Структура условного обозначения ПАРАЛЛЕЛЬ СО-Х1-Х2 следующая:

- ПАРАЛЛЕЛЬ — фирменное наименование, далее в обозначении указана мощность отводимых потерь тепла;
- Х1 (кВт) и Х2 — климатическое исполнение и категория размещения изделия соответственно согласно ГОСТу 15150-69.

Предприятием разработаны следующие станции охлаждения для индукционных установок различной мощности и частоты, технические характеристики которых приведены в таблице.

Основным техническим параметром станций охлаждения является мощность отводимых водой тепловых потерь, которая входит

в ее обозначение. Если удельная теплоемкость воды  $c = 1$  ккал/(кг·°С), для воды с температурой 25 °С, то можно считать, что вода с расходом 1 м<sup>3</sup>/ч при нагреве на 10 °С может отвести тепловые потери, равные 10 кВт [1].

Температура охлаждающей воды СО должна находиться в диапазоне +5...+25 °С и не должна быть ниже температуры окружающего воздуха в помещении более чем на 15 °С (во избежание появления росы).

Станция охлаждения предназначена для работы при следующих характеристиках охлаждающей технической воды:

- содержание взвешенных веществ не должно превышать 50 мг/л (прозрачность воды более 10 см);
- содержание железа не должно превышать 1 мг/л;
- жесткость воды не должна превышать 4 мг-экв/л;
- в охлаждающей воде должны отсутствовать примеси, образующие осадок;
- удельное электрическое сопротивление должно быть не менее 4000 Ом·см;
- не допускается наличие примесей, вызывающих коррозию металлов и порчу изоляции;
- не допускается наличие масел, нефтепродуктов и смолообразующих веществ.

Остальные требования при работе СО определяются по ГОСТу Р 51232-98.

Станции охлаждения ПАРАЛЛЕЛЬ СО, предназначенные для охлаждения полупроводниковых преобразователей, индукционных установок и другого технологического оборудования, комплектуются современными узлами, которые обеспечивают требуемую надежность работы. Для СО-60 используются теплообменник GPLK 60×40 FUNKE и насос CALPEDA MXHM 205E с однофазным двигателем (230 В, 50 Гц, 5,4 А).

### Управление системой охлаждения

Рабочая температура силовых компонентов и узлов ТПЧ является одним из основных па-

Таблица. Технические характеристики станций охлаждения для индукционных установок

Обозначение	СО-40М	СО-40	СО-60	СО-80	СО-120
<b>Первичный контур (к охлаждаемому устройству)</b>					
Мощность отводимых потерь, кВт	40	40	60	80	120
Напряжение питания	220 В, 50 Гц				3×380В
Мощность двигателя насоса, кВт	0,55	0,55	1,1	1,5	1,8
Объем бака, л	30				
Контроль запаса воды	Электронный (реле уровня)				
Номинальное давление воды на выходе, кгс/см <sup>2</sup>	3				
Расход воды при номинальном давлении м <sup>3</sup> /ч	2-3	2-3	5-6	6-8	8-10
Температура воды на входе («СЛИВ»), °С	42	42	40	40	40
Температура воды на выходе («НАПОР»), °С	30	30	30	30	30
<b>Вторичный контур (техническая вода системы водоснабжения)</b>					
Температура воды на входе («НАПОР»), °С	не менее	5			
	не более	25			
Температура воды на выходе, °С, не более	32				
Допустимые пределы рабочего давления, кгс/см <sup>2</sup>	2-3				
Габаритные размеры, мм	700×600×800		700×800×1953		
Масса, кг	110	150	230	240	250
Расход технической воды (номинальный) м <sup>3</sup> /ч	6	6	9	12	18



раметров, подлежащих непрерывному автоматическому контролю. Контроль состояния СО и параметров управления осуществляется со встроенной панели. Панель управления новых двухконтурных СО для индукционных установок показана на рис. 4.

Для решения задач автоматического управления использован контроллер фирмы MICROCHIP, позволяющий регулировать электрические параметры, цепи внутренней и технологической блокировки, а также расход и температуру воды в каналах системы водяного охлаждения. Состояние СО отображается на дисплее в виде текстовых сообщений и цифровой информации. В случае недопустимого падения давления воды или повышения ее температуры подается сигнал на отключение охлаждающего оборудования.

На лицевой панели СО установлен двухканальный микропроцессорный измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ202, который управляет работой клапана К1 и светосигнализаторами на пульте управления станции охлаждения в соответствии с заданными уставками:

- для технической воды уставка равна 29 °С;
- для дистиллированной воды уставка равна 27 °С.

Значение гистерезиса составляет 1 °С для обеих температур. Порядок программирования и работы прибора ОВЕН ТРМ202 приведен в его руководстве.

Панель управления станции охлаждения предназначена для включения и отключения насоса станции, программирования и визуального контроля температур, ручного или автоматического управления электромагнитным клапаном подачи воды внешнего контура, а также для визуального контроля работы станции охлаждения по световым индикаторам СЕТЬ, НАСОС, КЛАПАН, УРОВЕНЬ, ТЕХ.ВОДА НЕХВАТКА, ТЕХ.ВОДА ПЕРЕГРЕВ. Светосигнализаторы показывают наличие сетевого напряжения, нормальный уровень воды в баке, включение насоса и подачу напряжения на электромагнитный клапан.

Автоматический контроль функционирования СО является первой ступенью автоматизации, без успешной работы которой невозможно создать надежные установки индукционного нагрева. Потребление воды из внешней системы водоснабжения СО регулируется автоматически, в зависимости от фактической мощности тепловыделения в ППЧ, вплоть до полного прекращения потребления воды. При этом стабилизируется температура охлаждаемого изделия, что исключает появление конденсата. В случае недопустимого уменьшения давления технической воды или повышения ее температуры микропроцессором формируется сигнал на отключение станции охлаждения.

Нагрев и эффективность охлаждения компонентов и узлов ППЧ регистрируются в процессе заводских испытаний в основном двумя методами: калометрированием и бесконтактным методом, с помощью тепловизора. Процесс калометрирования широко известен,



Рис. 4. Панель управления двухконтурной станции охлаждения с контроллером

он дает точные результаты, но из-за своей продолжительности на практике неудобен.

Тепловизор — современный радиационный пирометр, регистрирующий тепловое излучение тел с температурой от 20 °С и выше, предназначенный для измерения температуры с преобразованием температурного поля в телевизионное изображение с цветовой контрастностью. Его достоинством является быстрое бесконтактное измерение теплового поля испытуемого оборудования, оперативное выявление проблемных в тепловом отношении зон и одновременное измерение их температуры с достаточной для обычной практики точностью. На рис. 5 показан экран тепловизора в процессе измерения температуры силовых компонентов электрической схемы ТПЧ.



Рис. 5. Измерение температуры нагрева компонентов ППЧ

Рассмотренная система охлаждения с управлением от контроллера используется в новых станциях охлаждения типа ПАРАЛЛЕЛЬ для индукционных установок повышенной частоты мощностью 40–320 кВт.

## Заключение

Применение станций охлаждения в технологических установках позволяет повысить культуру производства и экологичность, а также снизить эксплуатационные затраты, чего в значительной степени не хватает отечественной промышленности.

К настоящему времени силовые компоненты ППЧ, узлы и конструкции СО прошли период естественного отбора, что позволяет эффективно использовать их в новых разработках, которые удешевляют оборудование установок индукционного нагрева металлов, обеспечивают его надежную работу и уменьшают затраты на эксплуатацию.

## Литература

1. Шевченко В.Г., Щербак Н.И. К вопросу о проектировании станций оборотного охлаждения (В помощь разработчику) // Индукционный нагрев. 2008. № 3.
2. Зинин Ю., Мультенко М. Новые разработки силовых преобразователей типа «Параллель» для установок индукционного нагрева металлов // Силовая электроника. 2014. № 2.
3. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева труб большого диаметра / Ю. Зинин, А. Иванов, М. Мультенко, А. Уржумсков // Силовая электроника. 2014. № 6.
4. [www.prl.ru](http://www.prl.ru).