

Конструирование индукционной установки

для нагрева ТВЧ-изоляции труб большого диаметра

В статье рассмотрена индукционная ТВЧ-установка для нагрева изоляции стальных труб. Приведен принцип действия мощных статических преобразователей частоты, устройство и особенности исполнения, основные технические характеристики. Показана разработка установок в автоматических линиях методического нагрева трубы и больших индукторов.

Дарья Мамаева

darya.mamaeva.95@mail.ru

Юрий Зинин

umz42@mail.ru

Юрий Ройзман

info@nkvp-petra.ru

Введение

Индукционная установка с преобразователем частоты для индукционного нагрева трубы большого диаметра носит название «Петра-ИНТ».

Современные преобразователи частоты реализованы на мощных транзисторах на базе MOSFET- и IGBT-модулей.

Разработанные преобразователи частоты «Петра» имеют много общих конструктивных узлов, что обеспечивает их унификацию [1–4].

В публикации освещены технические требования к разработке преобразователя частоты и особенности конструирования мощных тиристорных преобразо-

вателей частоты для индукционного нагрева стальных труб большого диаметра.

Индукционная установка «Петра-ИНТ» для нагрева изоляции трубы

Нагрев трубы происходит в индукционном нагревателе, который представляет собой высокочастотный проходной индуктор с параллельно подключенными электротермическими (печными) конденсаторами.

Преобразователи частоты ТВЧ предназначены для индукционных электротермических установок и управления электрическими режимами индукционных нагревателей.

На рис. 1 приведен общий вид индукционной установки: преобразователь «Петра-0141», блок компенсации конденсаторов, гибкие проводники ТВЧ к индуктору и труба для нагрева большого диаметра.

Электрооборудование служит для нагрева изоляции трубы большого диаметра от ТВЧ преобразователя частоты.

Преобразователь частоты подключается к колебательному контуру нагрузки.

В контур нагрузки входит индуктор и блок компенсирующих (печных) конденсаторов. С изменением частоты переключения полупроводниковых транзисторов преобразователя меняется уровень напряжения на индукторе, что в конечном счете позволяет управлять температурой нагрева металла трубы и индуктора.

На рис. 2 показан состав ТВЧ-оборудования «Петра-ИНТ» и сменные индукторы. Общий вид нагревательной установки «Петра-ИНТ» представлен на рис. 3.

В составе индукционной установки для нагрева труб предусмотрены:

- преобразователь частоты «Петра-0141» (1);
- блок компенсирующих конденсаторов (2);



Рис. 1. Индукционная установка «Петра-ИНТ» для нагрева трубы большого диаметра

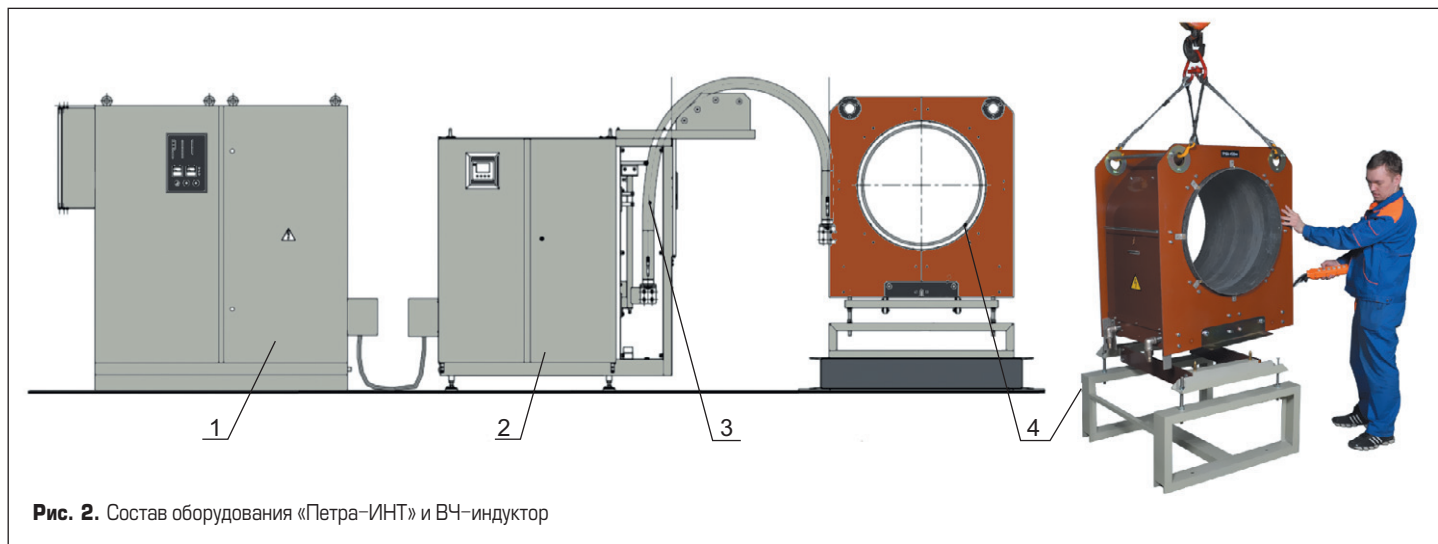


Рис. 2. Состав оборудования «Петра-ИНТ» и ВЧ-индуктор

Таблица 1. Параметры преобразователя «Петра-0141»

$P_{\text{выхл}}$ кВт	$f_{\text{нагр}}$ кГц	$U_{\text{пит}}$ В × 50 Гц	$U_{\text{нагр}}$ В	Расход воды, м ³ /ч	Масса, кг
250	1	380	400, 800, 1600	2–2,5	520–500
320	1; 22			3	580–550
500	1; 2,4; 4; 8; 10	570	800, 1600	3,4	620–600
800	1; 2,4; 4; 8; 10				620

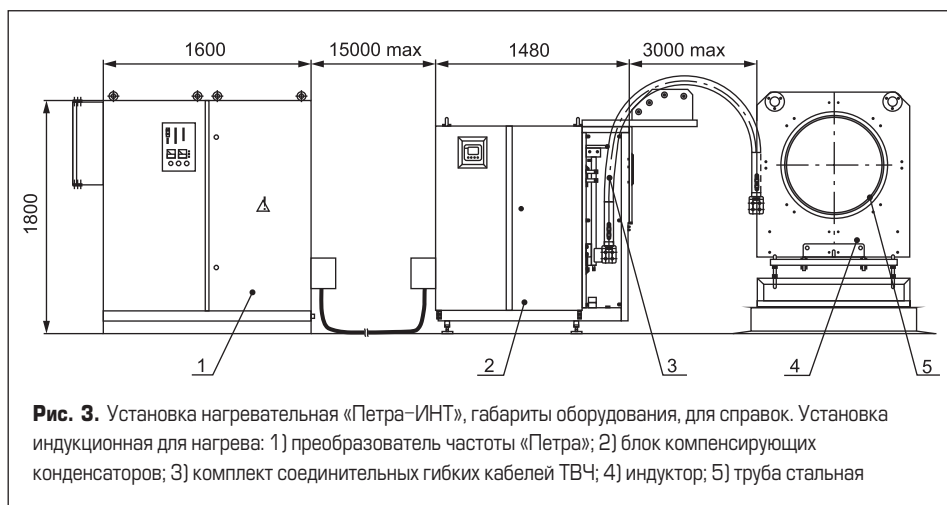


Рис. 3. Установка нагревательная «Петра-ИНТ», габариты оборудования, для справок. Установка индукционная для нагрева: 1) преобразователь частоты «Петра»; 2) блок компенсирующих конденсаторов; 3) комплект соединительных гибких кабелей ТВЧ; 4) индуктор; 5) труба стальная

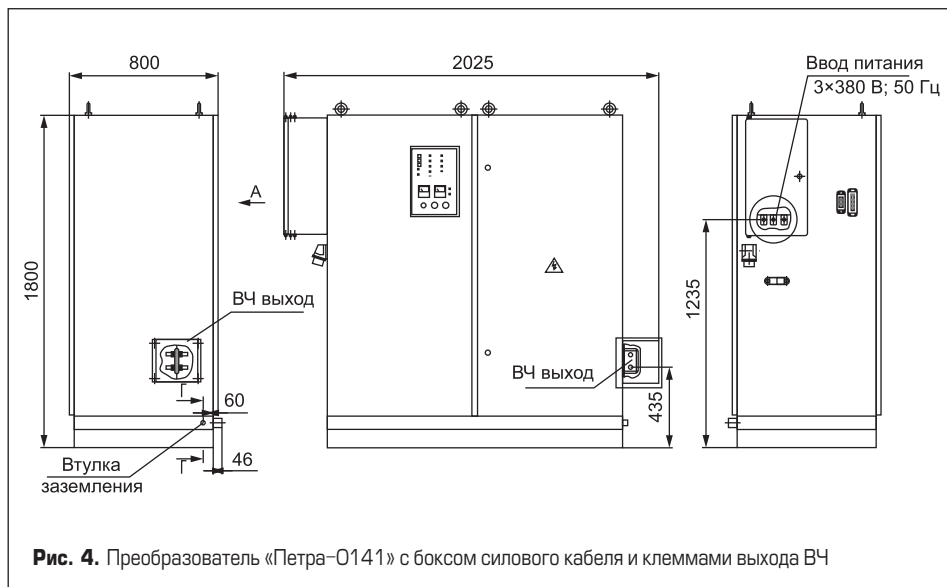


Рис. 4. Преобразователь «Петра-0141» с боксом силового кабеля и клеммами выхода ВЧ

- комплект соединительных кабелей (3);
- индуктор НКВП «Петра» (4).

Основная цель «Петра-ИНТ» — надежность установок ТВЧ и индукционных нагревателей индукторов.

Преобразователь частоты «Петра-0141»

Принцип действия статического преобразователя частоты питания от трехфазной сети — преобразование электрической энергии выпрямителя в постоянное напряжение автономного инвертора тока ТВЧ.

Транзисторные преобразователи частоты типа «Петра» предназначены для питания ТВЧ-индукторов индукционных электротермических установок.

НКВП «Петра» разработан транзисторный преобразователь частоты «Петра-0141» с выходной мощностью 250–800 кВт, единичной мощностью до 1 МВт.

Нагревательные установки соединены между собой гибкими водоохлаждаемыми токопроводами. Показаны максимальные расстояния между оборудованием.

Преобразователь частоты устанавливается в непосредственной близости от нагревателя (на расстоянии до 5 м).

При работе номинальное напряжение на выходных контактах для подключения токопроводов нагрузки на индукционный нагреватель с батареей компенсирующих конденсаторов и регулировкой выходного напряжения находится в пределах 200–800 В.

Конструкция шкафа преобразователя «Петра»

Преобразователь частоты подключается к сети переменного трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью частотой с линейным напряжением $3 \times (380 \text{ В} \pm 10\%)$ — 50(60) Гц.

На рис. 4 показан преобразователь частоты «Петра» с боксом силового кабеля и выходными силовыми клеммами выхода ТВЧ-преобразователя. Параметры преобразователя «Петра-0141» приведены в таблице 1.

Все подключения преобразователя «Петра-0141» выполняются снаружи шкафа. Для

отключения нагрузки от сети используется встроенный силовой контактор.

Силовой автоматический выключатель преобразователя установлен в отдельном боксе на боковой стенке сверху шкафа преобразователя.

ТВЧ-выход преобразователя расположен снаружи шкафа снизу на противоположной стенке.

Разъемы для подключения пульта дистанционного управления и внешних сигналов вынесены на боковую стенку преобразователя частоты.

Применение промышленных разъемов обеспечивает надежную фиксацию, контакт и защиту при эксплуатации в агрессивных производственных условиях.

Варианты подключения силового питания преобразователя и клеммы ТВЧ к выходу преобразователя частоты «Петра-0141» показаны на рис. 5.

Подключение силового кабеля к боксу преобразователя промышленной частоты:

- фазный ток питающей сети (действующее значение): не более 550 А;
- степень защиты шкафа преобразователя по ГОСТ 14254-96 для подключения индуктора (исключая контакты): IP54;
- силовые клеммы обеспечивают выход ТВЧ от преобразователя частоты «Петра-0141».

Технические характеристики преобразователя частоты «Петра-0141»:

- КПД: не менее 96;
- коэффициент мощности по сети питания мощности: 0,95;
- режим работы преобразователя: длительный, ПВ — 100%.

Параметры оборудования НКВП «Петра-0141» могут отличаться от указанных в таблице.

Конструкция индуктора «Петра»

В силовой электронике пондеромоторные эффекты в электродинамике учитывают конструкцию в индукторах.

Сменные индукторы обеспечивают ТВЧ различных труб, для них не критична рабочая частота скин-нагрев.

Быстрая установка индуктора в технологических линиях обеспечивается их заменой.

Сменные индукторы для ТВЧ-нагрева различных труб большого диаметра показаны на рис. 6. Для установки сменных индукторов на станину используется тельфер.

Соосность индуктора с трубой обеспечивается ловителями, предусмотренными конструкцией нагревателя.

Большие индукторы разных типов в составе индукционной установки «Петра-ИНТ» обеспечивают нагрев стальных труб для нанесения изолирующих покрытий.

Разработка ТВЧ-индукторов:

- применение компьютерного моделирования;
- при изготовлении используется аргонодуговая сварка;
- при необходимости производится изоляция витков с помощью обмотки и двойной вакуумной пропитки в лаке кремнийорганической композиции;

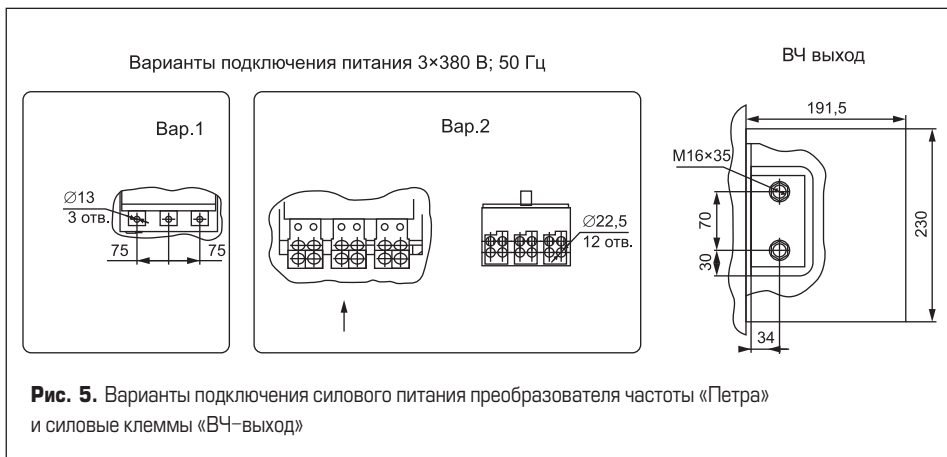


Рис. 5. Варианты подключения силового питания преобразователя частоты «Петра» и силовые клеммы «ВЧ-выход»

- для концентрирования магнитного поля и обеспечения специальных зон нагрева применяются магнитопроводы на основе современных материалов (аморфное железо, Fluxtrol).

Байонетное подключение (соединение индуктора посредством осевого перемещения и поворота) охлаждающей воды необходимо для быстрой смены индукторов.

Конструкция индукционной установки для нагрева труб позволяет легко и быстро заменять индукторы без перенастроек и переключений оборудования (рис. 6–8).

Мощность установки индукционного нагрева труб и комплект индукторов определяются номенклатурой обрабатываемых труб, температурой нагрева и производительностью.



Рис. 6. Индукторы для ТВЧ-нагрева труб большого диаметра



Рис. 7. Байонеты для сменных индукторов ТВЧ

Сортамент труб предусматривает наружный диаметр, толщину стенки, длину трубы, начальную температуру и температуру нагрева, а также производительность (м/мин или шт/ч).

Поскольку величины токов, проходящих через индуктор, составляют десятки килоампер, то во избежание расплавления индукторы изготавливаются из медных водоохлаждаемых трубок.

Конструкция зависит от требований ТВЧ-нагрева:

- многovitковые водоохлаждаемые индукторы имеют внутреннюю теплоизоляцию;
- индуктор ТВЧ перемещает снаружи нагреваемую трубу;
- индукторы характеризуются большими размерами и специальной конструкцией, обеспечивающей фиксацию витков друг относительно друга и крепление индуктора в корпус.

Блок управления и пульт управления

Преобразователь частоты «Петра» автоматически поддерживает заданный режим нагрева трубы, тем самым обеспечивая стабилизацию тока индуктора.

Состояние нагрузки контролируется преобразователем частоты, поддерживая работу инвертора в области безопасных режимов от обрыва до короткого замыкания.

Система защиты служит для аварийного отключения, ограничения перенапряжений и обеспечивает бесконтактное отключение преобразователя частоты.

Блок управления выполняет контроль температуры силовых транзисторов.

Система управления позволяет регулировать и стабилизировать выходную мощность

Таблица 2. Технические характеристики и параметры установки индукционного нагрева трубы

$P_{\text{потр}}, \text{ кВт}$	$F_{\text{инд}}, \text{ кГц}$	$U_{\text{сеть}}, \text{ В}$	Производительность, кг/ч	Расход воды, м ³ /ч	Занимаемая площадь, не более, м ²
60–1000	1–22	380, 570	1700–21000	1–10	10

Примечания. Параметры оборудования НКВП «Петра» могут отличаться от табличных. Производительность при температуре нагрева трубы +200 °С.

в диапазоне 5–100% различной добротности нагрузки и обеспечивает связь с внешним оборудованием по шине стандарта RS-485.

Индикация режимов преобразователя информирует о работе данного устройства, а также о состоянии системы блокировок и защит.

На лицевую панель преобразователя вынесены кнопки «Пуск», «Стоп» и ручка управления мощностью.

Контроль температуры трубы на выходе из индуктора производится бесконтактным способом, с помощью пирометра. Для управления техпроцессом пульт выполнен на базе ПЛК и HMI-панели. Применение интеллектуального пульта управления обеспечивает визуализацию техпроцесса и создание документации технологической отчетности (протоколирование).

Технологическая линия нагревательная для изоляции большого диаметра труб

Рабочая частота преобразователей хорошо согласуется с требованиями к нагреву труб диаметром 57–1420 мм на автоматических поточных линиях.

Нагрев труб перед изоляцией производится на индукционной установке, выполненной на базе преобразователя частоты мощностью 320 кВт, частотой 2,4 кГц.

Кроме преобразователя частоты, в состав индукционной установки входит комплект индукторов, батарея компенсирующих конденсаторов, теплообменная станция и комплект водоохлаждаемых кабелей.

Обрабатываемая труба приводным рольгангом перемещается через индуктор. Одновременно с поступательным перемещением трубе сообщается вращательное движение с непрерывно-последовательным нагревом трубы.

В составе установки индукционного нагрева имеются два преобразователя частоты мощностью 500 кВт, работающие синхронно на одну батарею компенсирующих конденсаторов, и индуктор, подключенный к ней водоохлаждаемыми кабелями.

Охлаждение преобразователей частоты и конденсаторной батареи осуществляется по двухконтурной схеме с применением теплообменной станции «Петра-0395».

Индукционный нагреватель устанавливается в технологическую линию, по которой нагреваемые трубы транспортируются с помощью роликов с электроприводом.

Стандартный ряд труб большого диаметра включает значения: 530, 630, 720, 820, 1020, 1220, 1420, 1620 мм и более, мерная длина изменяется в пределах 11,5 м.

Согласно стандартам максимальный диаметр электросварных труб большого диаметра по ГОСТу составляет 820 мм. При этом они должны иметь лишь один поперечный и один продольный шов. Если диаметр больше, то допускается наличие второго продольного шва. Большие трубы могут покрываться 2–3 слоями изоляции.

Для нагрева труб перед покрытием применяется индукционная установка «Петра-ИНТ» мощностью 250 кВт, частотой 2,4 кГц (табл. 2). В комплект установки входят преобразователь частоты, батарея компенсирующих конденсаторов, теплообменная станция «Петра-0371», индукторы, пирометр для контроля температуры нагрева трубы.

Производительность индукционной установки 18 т/ч.

Технологическая линия индукционного ТВЧ-нагрева для изоляции труб большого диаметра представлена на рис. 9.

Антикоррозийная «весьма усиленная изоляция» стальных труб ВУС водонепроницаема и позволяет сохранить трубопровод в рабочем состоянии в течение 30 лет.

Трубы в усиленной изоляции применимы в магистральных трубопроводах, осуществляющих транспортировку нефти, газа, воды, конденсата.



Рис. 8. Подключение индуктора ТВЧ

Трубы большого размера основных материалов из стали 35 и стали 45 бесшовные конструкционные углеродистые.

Технологическая линия по нанесению эпоксидных покрытий на наружную поверхность труб диаметром 325–1020 мм обеспечивает нагрев трубы до температуры спекания.

Для преобразователя частоты мощность определяется техническими требованиями при нагреве труб большого диаметра и зависит от скорости подачи, типоразмера и необходимой температуры нагрева.

За счет отказа от газопламенного нагрева технологические возможности производства позволяют увеличить сортамент обрабатываемых труб и улучшить качество покрытия изоляции.

Литература

1. Мамаева Д., Зинин Ю., Ройзман Ю. Преобразователь частоты со встроенной теплообменной станцией типа «Петра-0133» и разработка малогабаритных закалочных трансформаторов ТВЧ // Силовая электроника. 2018. № 3.
2. Зинин Ю., Мамаева Д., Ройзман Ю., Куземский В. Транзисторный преобразователь частоты типа «Петра-0141» мощностью 250–800 кВт индукционных плавильных установок типа ИСТ для теплообменной станции «Петра-0395» // Силовая электроника. 2018. № 2.



Рис. 9. Технологическая линия индукционного ТВЧ-нагрева для труб большого диаметра

3. Зинин Ю., Ройзман Ю., Мамаева Д. Разработка транзисторного преобразователя частоты «Петра-0132» для вакуумных установок индукционного нагрева // Силовая электроника. 2018. № 1.
4. Зинин Ю., Мамаева Д. Установка электротермическая с полупроводниковым преобразователем повышенной частоты ППЧ-160-2.4 // Силовая электроника. 2017. № 2.