

Индукционные установки ТВЧ

для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес

В статье описаны индукционные установки для закалки крупномодульных зубчатых колес.

Рассмотрены тиристорные преобразователи частоты типа «Петра-0120», их устройство, конструктивные особенности исполнения, основные технические характеристики, а также технические характеристики теплообменной станции «Петра-0395» для охлаждения преобразователей. Приведены примеры для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес.

Дарья Мамаева

darya.mamaeva.95@mail.ru

Юрий Зинин

umz42@mail.ru

Юрий Ройзман

info@nkvp-petra.ru

Введение

Финишной технологической операцией изготовления стальных деталей шестерней является закалка колесами высокой частоты (ТВЧ).

В машиностроении принято малое зубчатое колесо называть шестерней, а большое чаще именуют «колесом» зубчатого колеса. Важнейшие параметры зубчатых колес — модуль, шаг, высота зуба, число зубьев и диаметр окружности выступов [1].

На индукционной установке обрабатываются зубчатые колеса с модулем выше 6 мм, получаемая глубина закаленного слоя составляет примерно 1,6 мм.

В одновитковом индукторе ТВЧ с концентратором осуществляется поверхностная закалка зуба, сердцевина зуба остается «сырой» [2].

Индукционные установки ТВЧ типа «Петра-0501» применяются также с закалкой в кольцевом индукторе.

Поверхностная закалка шестерен с малым модулем, меньше 6 мм, осуществляется в кольцевом индукторе с большим количеством витков.

Индукционная установка ТВЧ для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес

Индукционные установки ТВЧ применяют для поверхностной закалки при индивидуальной конструкции индуктора [3].

Для закалки зубчатых колес большого диаметра используется метод поверхностной закалки зуба путем перемещения индуктора во впадине между рабочими поверхностями двух соседних зубьев.

Индуктор греется ТВЧ, а затем от спрейера (душ) снизу вверх перемещается вдоль зуба колеса.

Автоматизация процесса и стабилизация тока индуктора обеспечивают повторяемость качества закаленного слоя колеса.

Установка зубчатого колеса больших габаритов и массы, вращение колеса, его подъем, снятие обеспечиваются тельфером.

В состав индукционной нагревательной установки входят преобразователь частоты «Петра-0120» и теплообменная станция «Петра-0305», блок силовых конденсаторов и выходной трансформатор ВЧ с комплектом индукторов охлаждения технической воды от градирни.

Одновитковый индуктор для подобной установки должен обладать большой механической прочностью, выполняться на небольшое действующее напряжение (20–50 В) и обеспечивать протекание большого тока высокой частоты (3–5 кА).

На рис. 1 показана индукционная установка ТВЧ для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес.

Состав индукционной ТВЧ-установки типа «Петра»:

- станция теплообменная охлаждения «Петра-0395 СТ»;



Рис. 1. Индукционная установка «Петра» ТВЧ для поверхностной закалки крупномодульных зубчатых колес

- преобразователь тиристорный «Петра-0120»;
- блок компенсации электротермических конденсаторов;
- блок согласующий трансформаторный;
- индуктор;
- пульт управления выносной;
- оборудование для перемещения колеса;
- поворотный стол закалочного механизма.

На рис. 2 показан магнитный концентратор при индукционном нагреве для закалки ТВЧ крупномодульных по впадине зубчатых колес с шаблоном зuba.

Управление механизмом загрузки/выгрузки осуществляется программируемым логическим контроллером. Отображение всех технологических параметров режима нагрева происходит на панели оператора.

Тиристорный преобразователь частоты «Петра-0120»

Преобразователи частоты «Петра» используются при необходимости глубинного нагрева с последующей закалкой и для поверхностной закалки [3–8].

Регулирование мощности в нагрузке производится изменением частоты выходного тока преобразователя на рабочей частоте 2,4–22 кГц.

Серия тиристорных преобразователей «Петра» охватывает диапазон мощностей 30–160 кВт.

Тиристорные преобразователи частоты — автономные инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный с регулируемой частотой.

Автономный преобразователь подключен на нагрузку, не связанную с сетью переменного тока.

Автономный резонансный тиристорный инвертор с обратными диодами предназначен для установки индукционного нагрева. Силовые компоненты инвертора: силовые тиристоры, устанавливаемые на охладители; встречно-обратные ВЧ-диоды, силовые ком-

мутирующие конденсаторы, индуктивные дроссели, выходные трансформаторы ВЧ.

На рис. 3 показаны тиристорные преобразователи частоты «Петра-0120».

Серия полупроводниковых тиристорных преобразователей частоты (ТПЧ) «Петра-0120» охватывает диапазон мощностей 30–160 кВт. Обычно преобразователь частоты используется для нагрева в составе закалочных установок и других установок, заменяет применявшимися ранее преобразователи частоты типа ТПЧ-160 и машинные преобразователи частоты типа ВПЧ.

Установка «Петра» не требует специального помещения для установки преобразователя частоты.

На рис. 4 показан общий вид преобразователя «Петра-0120» и шкаф подключения тиристорного преобразователя частоты.

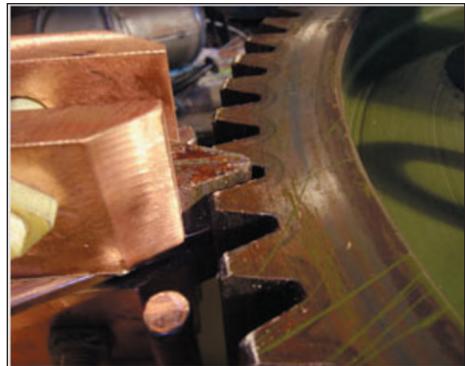


Рис. 2. Магнитный концентратор индуктора по впадине зuba для поверхностной закалки ТВЧ



Рис. 3. Тиристорные преобразователи частоты «Петра-0120»

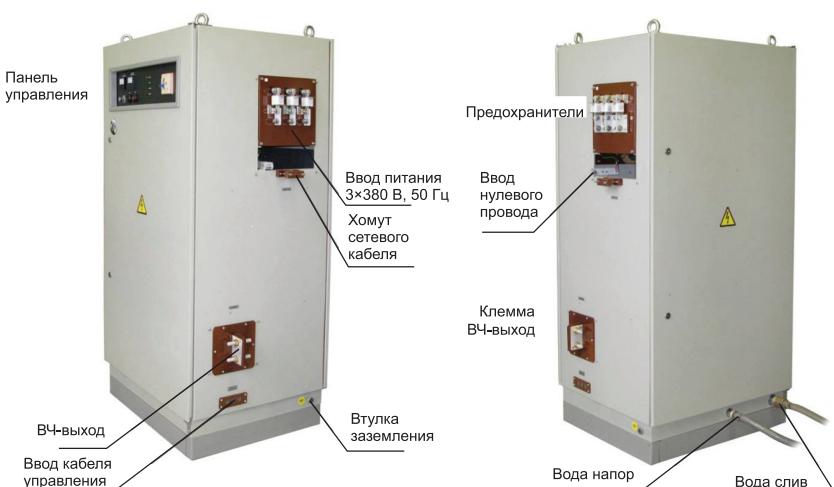


Рис. 4. Общий вид преобразователя «Петра-0120» и подключение тиристорного преобразователя частоты

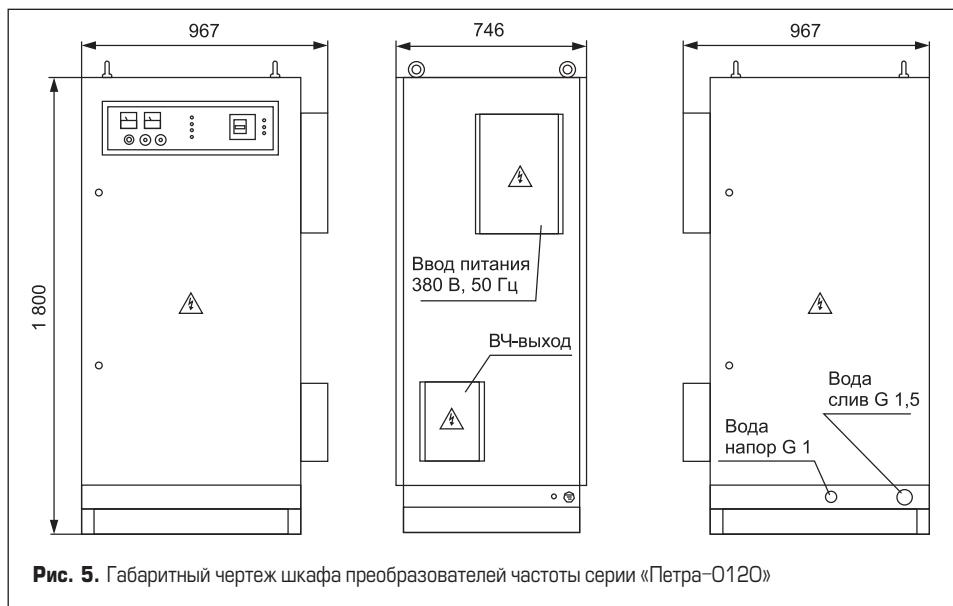


Рис. 5. Габаритный чертеж шкафа преобразователей частоты серии «Петра-0120»

Таблица 1. Технические данные преобразователей серии «Петра-0120»

Тип преобразователей	Технические данные преобразователей серии «Петра-0120»									
	30×22	63×10	63×18	100×2,4	100×4	100×8	100×10	160×2,4	160×4	160×8
P _{вых} , кВт	30	63			100				160	
F _{нагр} , кГц	22	10	18	2,4	4	8	10	2,4	4	8
U _{пит} , В				380×50Гц						
U _{вых} , В				400, 800, 1600						
P _{вых} %				10–100						
КПД				0,85						
Масса, кг	270			380			420			
Расход воды, м ³ /ч	0,6			1			1,6			

Автономный независимый инвертор тиристорного преобразователя повышенной частоты получает питание от неуправляемого выпрямителя, подключенного к трехфазной сети переменного тока через устройство аварийного отключения — тиристорный выключатель постоянного тока.

Неуправляемый мостовой выпрямитель уменьшает помехи в питающей сеть. При необходимости бесконтактное устройство защиты

преобразователя обеспечивает отключение преобразователя.

Регулирование мощности тиристорного преобразователя в колебательной нагрузке выполняется изменением частоты выходного тока преобразователя.

Последовательный автономный инвертор с дросселем постоянного тока с неуправляемым мостовым выпрямителем обеспечивает быстродействующую бесконтактную защиту преобразователя частоты при аварийных режимах.

Разработан тиристорный преобразователь частоты, который предусматривает:

- частотное управление мощностью преобразователя для нагрева нагрузки;
- автоподстройку преобразователя частоты при переменной нагрузке;
- диапазон регулирования мощности 10–100%;
- высокий коэффициент мощности по отношению к питающей сети;
- эффективную быстродействующую бесконтактную защиту.

На рис. 5 показаны габариты и основные размеры шкафа серии «Петра-0120».

Сварной прочный шкаф специальной конструкции обеспечивает герметизацию, низкий уровень шума, но имеет значительный вес, и для перемещения статического преобразователя предусмотрены рым-болты.

На фасаде шкафа имеется панель управления, справа — ввод питания от трехфазной сети, выход специальных силовых кабелей к ВЧ, с обратной стороны — ввод для охлаждения «чистой» воды.

Охлаждение силовых преобразователей серии «Петра-0120» обеспечивает необходимый расход технической воды: конденсаторный блок; блок трансформаторный согласующий и индуктор.

Станция теплообменная «Петра-0395 СТ»

Станция теплообменная обеспечивает контроль наличия протока воды по внутренним каналам охлаждения тиристорного преобразователя частоты.

Система водяного охлаждения установки поддерживает интенсивность охлаждения индукционного комплекса, контроль давления на входе каналов охлаждения преобразователя частоты «Петра», блок батарей печных конденсаторов, давление дистилированной воды на выходе составляет 0,2 МПа.

Нерабочие режимы при эксплуатации ТПЧ возможны при превышении рабочих токов, недостаточном охлаждении установки или отсутствии протока воды в каналах охлаждения.

Для повышения надежности ТПЧ при возникновении неисправности в отдельных каналах системы водяного охлаждения применяются термодатчики теплообменной станции.

На рис. 6 показан вид теплообменной станции «Петра-0395» и габаритные размеры. Технические характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики теплообменной станции типа «Петра-0395» для тиристорных преобразователей частоты «Петра»

Площадь поверхности теплообмена, м ²	Отводимые тепловые потери, не менее, кВт	Масса установки, не более, кг
1,92	40	220
2,56	60	230
3,04	80	240
5,85	160	310
7,35	175	335

Примечание. Параметры оборудования могут отличаться от табличных значений.

Рис. 6. Вид теплообменной станции и габаритные размеры «Петра-0395»

Теплообменная станция «Петра-0395» (пластинчатый теплообменник) производится с двухконтурным охлаждением индукционного оборудования. Диаметр условного присоединенного патрубка — 1 дюйм.

Ввод питания ТС от однофазной сети — 220 В × 50 Гц.

Каналы протока воды теплообменной станции — это коррозионно-стойкие шланги во внутреннем контуре. Дистилированная вода циркулирует с помощью насоса объемом около 30 л «чистой» воды. Через теплообменник вода передает тепло во внешний контур технической воды.

При расходе технической воды не менее 3,74 м³/ч максимальная температура технической воды на входе не превышает +25 °C. Максимальная температура дистилированной воды на входе должна составлять не более +45 °C [9].

На рис. 7 показана панель управления «Петра-0395».

Система управления теплообменной установки обеспечивает индикацию на панели, где отображены однофазная сеть питания насоса, кнопка «Пуск установки», кнопка «Стоп установки».

Индикация панели ТС отображает статус: (стоп/не готов), температуру воды для преобразователя частоты, внешней воды входа, перепад температуры в теплообменнике; проток внешней воды, уровень чистой воды теплообменника, состояние передней двери, задней двери; при аварии, отсутствии протока воды, ошибке устройства ТС «не готов»; воду сопротивления, качество технической воды.

Система управления теплообменной станции реализует следующие функции:

- контроль и цифровую индикацию температуры дистилированной и технической воды;
- контроль в контуре протока технической воды;
- контроль уровня дистилированной воды;
- контроль температуры в контуре дистилированной воды;
- контроль температуры в контуре технической воды.

При выходе параметров за установленные пределы система управления теплообменной станции отключает индукционное нагревательное оборудование. Канал, по которому произошло отключение оборудования, запоминается и отображается на лицевой панели блока управления.

Установки ТВЧ тиристорных преобразователей частоты для высокочастотной закалки зубчатых колес

Для улучшения структуры металла стальных зубчатых колес необходимо оборудование и источники питания «Петра».

Одновитковый индуктор разогревает металл зуба колеса «настилом» высокочастотного тока, нагретый слой металла выходит из зоны



Рис. 7. Панель дисплея управления теплообменной станции «Петра-0395»



Рис. 8. Общий вид установки ИНУ с тиристорным преобразователем «Петра», с блоком конденсаторным и согласующим трансформатором

нагрева, интенсивно охлаждается спрейером воды, при этом сохраняет пластичность в глубине зуба, и поверхность зуба приобретает требуемую прочность.

Индуктор с одновитковым выходом подключен к источнику тока высокой частоты и согласующему закалочному трансформатору. При этом основной функцией высокочастотного трансформатора является согласование основных параметров — выходного сопротивления источника питания ВЧ и нагрузки-индуктора.

Установка индукционная нагревательная «Петра-ИНУ» применяется в таких технологиях, как закалка валов, закалка шестерен, закалка зубчатых колес.

На рис. 8 показана установка ИНУ с тиристорным преобразователем типа «Петра», с блоком конденсаторным и высокочастотным согласующим трансформатором.

Преобразователь ВЧ характеризовался недостатком пускового тока и тока холостого хода, шумом, необходимостью специального помещения, большим весом.

Тиристорный преобразователь частоты «Петра-ИНУ» эффективно заменяет машинные преобразователи частоты, обладая высоким КПД.

Индукционная установка «Петра» не требует отдельного помещения для размещения преобразователя.

Индукционная установка ИНУ для закалки шестерен и больших зубчатых колес обеспечи-



Рис. 9. Поверхностная закалка больших зубчатых колес с большим модулем

вает автоматическую термообработку методом «впадина за впадиной». Типы ИНУ индукционной закалки приведены в таблице 3.

Процесс термообработки ТВЧ: зубчатое колесо устанавливается на поворотном столе закалочного механизма, при этом в процессе закалки индуктором с концентратором обрабатываемый зуб колеса ориентируется относительно индуктора во впадину.

Цикл закалки установки ИНУ выполняется автоматически, преимуществом в технологии закалки является автокомпенсация при зазорах «деталь-индуктор» током индуктора.

Мощность индуктора и скорость перемещения зубчатых колес устанавливается на этапе отработки технологии, индуктор выводится из впадины

Таблица 3. Типы ИНУ индукционной закалки для крупномодульных зубчатых колес

Технические характеристики «Петра»			Поверхностная закалка ТВЧ	
F _{инр} , кГц	Расход воды, м ³ /ч	Масса, кг	D _{макс} , мм	Глубина, мм
2,4	3	410	200	5–10
8	4,1		350	2,75–5,5
2,4	5	420	420	5–10
8	5,5			2,75–5,5
2,4	6,5	580	500	5–10
8	6,7	690		2,75–5,5

зуба, и производится поворот на один шаг, затем цикл термообработки повторяется.

Индуктор изолирован от питающей сети и заземлен с магнитным концентратором, выделяет номинальную мощность в индукторе зуба колеса.

Важным преимуществом установки ИНУ в технологии закалки является автокомпенсация при зазорах «деталь-индуктор» током индуктора.

На рис. 9 показана финишная поверхностная закалка большого зубчатого колеса с большим модулем, вес зубчатого колеса — до 1500 кг.

Для нефтяной, газовой, машиностроительной и других отраслей промышленности актуальной является ТВЧ-обработка изделия [10–12].

Преобразователь частоты «Петра» обеспечивает режим «закалка» в поверхностном слое зубчатого колеса, не перегревая сердцевину металла. Согласующий трансформатор индукционной установки типа «Петра» имеет 1–3 витка вторичной обмотки.

Согласующий трансформатор подключается через индукторы с индуктивностью 0,2–1,8 мГн.

В кольцевом индукторе возможна поверхностная закалка шестерен с малым модулем зубов — менее 6 мм.

Литература

1. Анульев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В трех томах. М.: Машиностроение, 1980.
2. Руднев В., Кук Р. Магнитные концентраторы поля: мифы, факты и преимущества. www.imltd.ru/54.html.
3. Шапиро С. В., Зинин Ю. М., Иванов А. В. Системы управления с тиристорными преобразователями частоты для электротехнологии. М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Зинин Ю. М., Ройzman Ю. П. Современные тиристорные преобразователи повышенной частоты «Петра». Аэрокосмическая техника и высокие технологии. Всероссийская научно-техническая конференция. Пермь, ПГТУ, 2002.
5. Государственный реестр изобретений РФ. Патент № 2215361 «Мостовой инвертор». Авторы изобретения: Зинин Ю. М., Ветошкин А. В., Ройzman Ю. П. Патент от 27.10.2003.
6. Зинин Ю. Алгоритм управления многозонным индукционным нагревом от источника с ограниченной мощностью // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2005. № 9.
7. Валиуллина З., Зинин Ю. Проектирование тиристорного инверторно-индукторного закалочного комплекса с выходным трансформатором // Силовая электроника. 2007. № 3.
8. Зинин Ю. Моделирование тиристорных преобразователей частоты для электротермии. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
9. Зинин Ю., Мамаева Д., Ройzman 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.
10. Мамаева Д., Зинин Ю., Ройzman Ю. Преобразователь частоты со встроенной теплообменной станцией типа «Петра-0133» и разработка малогабаритных закалочных трансформаторов ТВЧ // Силовая электроника. 2018. № 3.
11. Зинин Ю., Ройzman Ю., Мамаева Д. Разработка транзисторного преобразователя частоты «Петра-0132» для вакуумных установок индукционного нагрева // Силовая электроника. 2018. № 1.
12. Мамаева Д., Зинин Ю., Ройzman Ю. Конструирование индукционной установки для нагрева ТВЧ-изоляции труб большого диаметра // Силовая электроника. 2018. № 4.