



Министерство образования и науки Самарской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Самарской области  
«САМАРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»  
(ГБПОУ «СЭК»)

Л.Г. Будников

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

Методические указания к выполнению практических работ  
для студентов специальности 13.02.01  
Тепловые электрические станции

ПМ. 03 Ремонт теплоэнергетического оборудования  
МДК 03.01 Технология ремонта теплоэнергетического оборудования  
Часть 1

Самара 2017

Методические указания к выполнению практических работ по МДК.03.01 *Технология ремонта теплоэнергетического оборудования* ПМ.03 *Ремонт теплоэнергетического оборудования* (часть I) /авт. Будников Л.Г. – Самара: ГБПОУ «СЭК», 2017 – 20 с.

Издание содержит методические указания к выполнению практических работ по МДК.03.01 *Технология ремонта теплоэнергетического оборудования* ПМ.03 *Ремонт теплоэнергетического оборудования* и рекомендации по их оформлению. Составлено в соответствии с требованиями ФГОС СПО по специальности 13.02.01.

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим советом ГБПОУ «СЭК» (протокол № 1 от 28.09.2017 г.)

Рецензент:

Яшин В.В. – заместитель директора - главного инженера по эксплуатации  
Безьянской ТЭЦ

Замечания, предложения и пожелания направлять в ГБПОУ «Самарский энергетический колледж» по адресу: 443001, г. Самара, ул. Самарская 205-А или по электронной почте [info@sam-ek.ru](mailto:info@sam-ek.ru)

© ГБПОУ «Самарский энергетический колледж», 2017

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Практические работы являются одним из основных видов учебных занятий, т.к. выполнение практических работ закрепляет и углубляет теоретические знания, позволяет приобрести самостоятельные навыки в решении многих технических вопросов, а также пользоваться справочной литературой и нормами технической документации. Кроме того, выполнение практических работ является подготовкой к курсовому и дипломному проектированию.

Цель практических работ:

– освоение профессиональных компетенций (ПК):

ПК 3.1 Планировать и обеспечивать подготовительные работы по ремонту теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.2 Определять причины неисправностей и отказов работы теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.3 Проводить ремонтные работы и контролировать качество их выполнения.

– закрепление теоретических знаний, полученных в результате изучения модуля ПМ.03. Ремонт теплоэнергетического оборудования.

Практические работы оформляются в рабочей папке. Все чертежи выполняются в технике компьютерной графики. Вывод по практической работе делается в устной или письменной форме.

### Тема 1.1. Дефектация и ремонт элементов конструкции парового котла

#### Практическая работа 1.

Технология ручной газовой сварки, расчет и выбор стропов по весу поднимаемого груза, отбраковка стальных канатов, разработка такелажной схемы при демонтаже и монтаже секций трубчатых воздухоподогревателей, выбор технологии ремонта горелочного устройства в зависимости от характера дефекта

*Цель работы:* изучение технологии ручной газовой сварки, расчет и выбор стропов по весу поднимаемого груза, отбраковка стальных канатов, разработка такелажной схемы при демонтаже и монтаже секций трубчатых воздухоподогревателей, выбор технологии ремонта горелочного устройства в зависимости от характера дефекта.

#### Методические указания

Одним из важнейших вопросов технологии ручной электродуговой сварки является определение оптимального сварочного режима – выбор диаметра электрода и силы сварочного тока. Скорость сварки и напряжение на дуге при этом способе обычно не регламентируются (однако напряжение на дуге не должно превышать величины, установленной нормами ПТЭ и ТБ).

Под термином «свариваемость металлов» понимается комплекс свойств свариваемого материала, обеспечивающих возможность получения сварных со-

единений, прочных в процессе сварки (технологическая прочность), и работоспособность в условиях действия нагрузок (эксплуатационная прочность).

При сварке сталей необходимо помнить о химическом! составе и влиянии различных легирующих элементов на её свариваемость, об условиях сварки конструкционных углеродистых нелегированных аустенитных сталей, об особенностях сварки того или иного сплава. И в зависимости от этого принять такой метод и технологию сварки, которые гарантировали бы получение высококачественного сварного соединения.

В процессе сварки некоторые стали склонны к образованию трещин в шве или в зонах, прилегающих к шву. Появление этих трещин обусловлено, главным образом, химическим составом и структурным состоянием стали. Из химических элементов, входящих в состав стали, наибольшее влияние на образование трещин оказывает углерод, действие которого усиливается легирующими элементами, вводимыми в сталь (хром, молибден, ванадий, марганец и др.).

Вводимые в сталь в небольших количествах легирующие добавки, например, молибден – 0,2 - 0,8%, ванадий – 0,1 - 0,3% и титан – до 0,2%, наряду с улучшением механических свойств повышают и её сварочные свойства, а вредные примеси (сера и фосфор), загрязнение металла неметаллическими включениями и растворенными газами (водород, кислород и азот) ухудшают сварочные свойства стали.

Стали, предварительно наклепанные или закалённые, обладают большей склонностью к образованию трещин, чем стали отожжённые или отпущенные.

Однако на образование трещин влияют не только химический состав и структурное состояние стали, но также и тип конструкции, сложность её узлов, характер закрепления свариваемых элементов, вид стыковки и т. д.

Понижение окружающей температуры в процессе сварки также влияет на её результаты. В ряде случаев требуется производить предварительный нагрев свариваемых элементов в зависимости от группы стали.

Таким образом, в зависимости от химического состава и структурного состояния стали должны соблюдаться условия и технология сварки. Исследования и накопленный опыт практического применения сварки в промышленности позволяют с достаточным приближением разделить различные конструкционные стали на четыре группы в зависимости от их сварочных свойств.

Некоторые конструкционные стали делятся на условные группы по их сварочным свойствам в зависимости от химического состава.

В зависимости от группы стали и типа конструкции необходимо соблюдать определённые условия процесса сварки.

В зависимости от толщины свариваемых элементов, типа сварных соединений, вида подготовки под сварку и пространственного положения шва выбирается сила сварочного тока. Например, при прочих равных условиях для сварки потолочных, вертикальных и горизонтальных швов силу сварочного тока рекомендуется применять на 10 - 20% меньше, чем для сварки нижних швов.

Для выполнения потолочных швов не рекомендуется применять электроды диаметром более 4 мм, а для вертикальных – 5 - 6 мм.

Размеры подготовки кромок под ручную электродуговую сварку и размеры сварных швов для углеродистых и легированных сталей должны соответствовать действующим государственным стандартам и техническим условиям.

Рекомендации по выбору диаметра электрода и сварочного тока при сварке электродами УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 и УОНИ-13/65 швов стыковых соединений даются в соответствии с ГОСТ 5264-58.

При применении электродов для электродуговой сварки сталей

Рекомендации по применению электродов для электродуговой сварки сталей. Следует отметить, что при сварке элементов парогенератора из простых углеродистых сталей, а также в случае соединения ручной электродуговой сваркой деталей из углеродистых сталей с деталями из легированных сталей (комбинированные стыки), предназначенных для работы при температуре до 450°С, применяются электроды типов Э-42, Э-42А, Э-50А и т. п. (марок ЦУ-5, ОЗС-9, МР-3, УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65). При этом для сварки электродами типа Э-42 применяют как постоянный, так и переменный ток. В случае сварки этих соединений электродами типа Э-42А или Э-50А нужно применять постоянный ток обратной полярности.

## Тема 1.2. Дефектация и ремонт котельно-вспомогательного оборудования

### Практическая работа 2

Составление схем и расчёты при центровке и балансировке роторов.

*Цель работы:* составление схем и расчёты при центровке и балансировке роторов.

#### Методические указания

Дефектные трубы из секций ремонтируемого воздухоподогревателя удаляют срезанием сварных швов фрезой в местах приварки труб к трубным доскам с высверливанием приварных концов. Допускается применение кислородного резака для вырезки труб, после чего необходимо выполнить механическую обработку отверстий в трубных досках и кромок отверстий, используя для этого свёрла, зенкер, фрезу или райбер.

Для высверливания труб, обработки отверстий в досках и снятия заусенцев и остатков наплавленного металла с кромок отверстий рекомендуется использовать пневмопривод. Разрешается также применять и электропривод, если последний соответствует требованиям Правил техники безопасности, предъявляемым к электроинструменту, используемому на данном рабочем месте.

При обрезке труб и обработке отверстий в нижних досках вертикальных секций рекомендуется для облегчения центровки и удержания инструмента в потолочном положении применять различные вспомогательные устройства в виде подставок, рычагов и т. п. Подставка для удержания в потолочном положении режущего приспособления и привода. Подставка одновременно испол-

няет роль упора, позволяющего обеспечить необходимое продольное усилие на резцовой головке, и, если требуется, перемещает последнюю совместно с приводом в вертикальном направлении.

В ремонтной практике имеют место случаи замены труб и участков труб отдельных секций воздухоподогревателей без демонтажа трубных досок. Для обоих случаев соединение концов труб по месту в газоходе трубной секции способом насадки одного конца трубы на конец другой выполняют в следующем порядке. Верхний конец нижней трубы, предназначенной для стыковки с верхней трубой, нагревают пламенем газовой горелки и раздают оправкой на длине 30 - 35 мм. При этом внутренний диаметр раструба должен получиться на 2 - 2,5 мм больше наружного диаметра трубы. Заводят нижний конец этого участка в трубное отверстие и ударами снизу насаживают раструб на верхнюю трубу, закрепленную в трубной доске. Место соединения заливают густоразведённым суриком. Более плотное соединение можно получить, если непосредственно перед насадкой нагреть газовой горелкой раструб или оба стыкуемых конца.

При массовом удалении труб и участков труб из вертикальных секций воздухоподогревателей необходимо обеспечить надежную фиксацию и крепление всех трубных досок.

Необходимо помнить, что при удалении нижних участков труб из секций, опорная рама которых расположена под нижними трубными досками, нагрузка от массы верхних, оставляемых в секциях участков труб будет передаваться на верхнюю безопорную трубную доску. Поэтому в случае отсутствия проекта организации работ (ПОР) или особых технических условий на массовую замену нижних участков труб указанных секций, замену трубных участков следует выполнять по частям, для чего площадь трубной доски условно разбивают на ряд последовательных зон.

Выполнив замену изношенных участков труб в одной зоне, приступают к производству замены в следующей зоне и т. д.

Существуют *два основных варианта удаления и подачи труб* при замене их без демонтажа трубных досок секций воздухоподогревателей:

- 1) через нижнюю трубную доску в специально вырезанные окна в бункере или газоходе под трубной секцией;
- 2) через окна, вырезанные в воздушных коробах с боков трубных секций.

Первый вариант предпочтителен при замене труб целиком в высоких секциях с промежуточными трубными досками. Однако компоновка конвективной шахты и отсутствие необходимого пространства не всегда позволяют выполнить такую замену. Несомненным также остается тот факт, что при всех существующих вариантах массовая замена труб россыпью, без удаления из газоходов досок трубных секций требует значительных трудозатрат и времени по сравнению с заменой трубных пучков воздухоподогревателей блоками или микроблоками (секциями).

### Тема 1.3. Организация подъемно-транспортных работ при ремонте котельного оборудования

# Практическая работа 3

## Изучение технической документации на различные типы ремонтных лесов

*Цель работы:* изучение технической документации на различные типы ремонтных лесов

### Методические указания

#### Общие принципы ремонта механизмов

Механизмы выводят в текущие и капитальные ремонты одновременно с выводом в ремонт котла или энергоблока. На остановленных в ремонт механизмах уточняют ранее намеченный объем ремонта. Принципы технологического процесса ремонта являются общими для всех механизмов. Проверяют болтовое крепление фундамента, разъединяют полумуфты до начала и соединяют их после ремонта, проверяют центровку валов механизма и электродвигателя, замеряют масляные зазоры в подшипниках, устанавливают степень износа деталей и узлов, оценивают возможность их восстановления или замены, определяют степень пригонки деталей и узлов, испытывают плотность корпусов. Технологический процесс реализации заданного ремонтного объема выбирают на основе внедрения специальных приспособлений и инструмента, грузоподъемных стационарных кранов с соответствующей оснасткой, транспортно-механизированных перемещений оборудования и материалов по ремонтной площадке. На месте производства работ должно быть сварочное оборудование, электро- и газовая разводка для сварки, а также верстаки с тисками, сверлильные и токарные станки. При капитальном ремонте броню мельниц заменяют, если она изношена более чем на 50 % (отдельные изношенные участки вырезают и устанавливают новые или производят наплавку). Ротор молотковой мельницы вынимают из корпуса, снимают била и билодержатели в тех случаях, когда предстоит замена дисков, правка вала или замена подшипников с проточкой шеек вала. У мельниц больших типоразмеров роторы вынимают через боковые стенки (с использованием монорельс, шпальных выкладок или специальных тележек).

При слабой посадке дисков на вал протачивают изношенные места вала, а отверстия в дисках наплавляют и растачивают под новый диаметр вала.

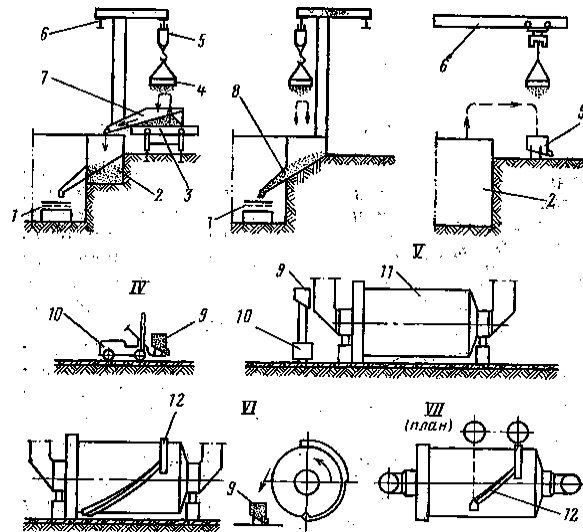


Рис.1. Схема комплексной механизации работ с шарами:

- 1 - транспортер угля;
- 2 - склад шаров; 3 - железно-дорожная платформа;

4 - электромагнит; 5 - электроталь; 6 - кольцевой монорельс; 7 и 8 - лотки; 9 - контейнер; 10 - автопогрузчик; 11 - мельница; 12 - приспособление для сортировки и выгрузки шаров; I - VII - этапы технологической последовательности подачи и загрузки шаров в мельницу

При выверке корпусов подшипников относительно вала обеспечивают равномерность радиальных зазоров между валом и уплотнениями.

Продолжительность опробования после ремонта мельниц с билами 2 - 3 ч, а после смены подшипников 8 ч.

Броню цилиндрической части барабана заменяют при износе плит до толщины 15 - 16 мм, а также при сработке волн бронеплит. Изношенную броню в топливных патрубках заменяют, а во втулки цапф устанавливают кольца с фланцем и спиралью. Степень одностороннего износа зубьев венцовой шестерни определяют по шаблону (при износе зубьев шестерню поворачивают на  $180^\circ$ ; если изношены обе стороны зубьев или уменьшилась толщина зубьев на 30 - 40 %, шестерню заменяют). Радиальное (не более 1 мм) и осевое (не более 1,5 мм) биения венцовой шестерни определяют при помощи реперов и щупа. При сборке венцовой шестерни обе половины плотно подгоняют друг к другу (допуск на смещение 0,05 мм). В соединении фланцев шестерни и барабана просветы не должны превышать 0,1 мм.

В главных подшипниках мельницы при износе (толщина баббита менее 3 мм) или отслаивании баббитового слоя (более чем на 30 % поверхности) вкладыши переваливают, растачивают и шабруют. Барабан в подшипниках проверяют по горизонтальности цапф (отклонение не более 0,35 мм на 1 м длины); в сальниковые уплотнения устанавливают новые фетровые или войлочные кольца и подключают трубы водяного охлаждения подшипников. Местный износ зубьев устраняют путем разделки и электродуговой заварки с последующей обработкой по шаблону. После укладки отремонтированного вала с зубчатым колесом на подшипники выверяют зацепление, колеса с венцовой шестерней и регулируют радиальный зазор (0,2 - 0,3 модуля). При ремонте редуктора зубчатые колеса, имеющие значительный общий износ или крупные местные дефекты, заменяют. Перед сборкой редуктора после ремонта проверяют плотность прилегания крышки редуктора к корпусу и крышек подшипников к нижним половинам подшипников.

При ремонте мельниц проверяют и ремонтируют шестерёнчатый масляный насос и устанавливают зазоры (втулки с выборкой более 0,1 мм заменяют). Шары загружают в мельницу в три приема по 1/3 их общей массы.

После опробования мельниц с шарами (не более 5 мин) производят обтяжку болтов, крепящих броню барабана и крышки люков, и переводят мельницу под нагрузку с подачей угля и отводом пыли. После 2 - 3 ч работы под нагрузкой мельницу останавливают, производят ревизию подшипников, приводного узла, подтяжку броневых болтов и устраняют обнаруженные дефекты. Опробование мельницы с фрикционным приводом на холостом ходу производят до установки углеподающего и пылевыводящего патрубков.



При ремонте мельничных вентиляторов значительную долю затрат составляет ремонт брони улитки. Интенсивный износ брони приводит к замене верхних плит через 350 - 450 ч, так как появляется опасность их обрыва и повреждения вентилятора. Для ремонта броневые плиты собираются отдельными полосами массой по 20 - 25 кг и вставляются в пазы корпуса мельницы. Часть броневых плит переворачивают на 180°, что увеличивает срок их службы. После ремонта мельничного вентилятора производится проверка правильности установки его узлов и обкатка на холостом ходу. При центровке механизмов непременным условием соединения электродвигателя и основного механизма при помощи муфт является соосность валов. Смещение соединяемых валов может быть трех видов: продольное, поперечное и угловое. Центровка производится по центровочным скобам, которые устанавливают с зазором между ними в пределах 0,5 - 1 мм.

Торцевые зазоры в нулевом положении измеряются в четырёх точках (сверху, снизу, справа и слева), а радиальный зазор – по скобе (сверху). Затем, поворачивая роторы в положение 90°, 180°, 270°, измеряют торцевые и радиальные зазоры в каждом положении. После четырех измерений для контроля их правильности роторы вновь устанавливают в первоначальное положение (показания должны совпадать с первоначальными). Результаты измерений торцевых зазоров, полученные в каждой одинаково расположенной точке на муфте, суммируют и для получения среднего значения делят на число измерений в этой точке. Результирующую запись центровки приводят к нулю, для чего из полученных данных вычитается наименьшее значение, а остатки заносят в схему центровки. Измерения считаются правильными, если сумма верхних и нижних зазоров равна сумме боковых зазоров как по торцу, так и по окружности.

#### Тема 1.4. Система сетевого планирования и управления при проведении ремонтных работ

##### Практическая работа 4

##### Составление и расчёт сетевого графика

*Цель работы:* составление и расчёт сетевого графика.

##### Методические указания

Методы сетевого анализа и сетевого управления применимы для разработки новых продуктов и технологий как в традиционных отраслях, для которых типичны лишь пошаговые инновации, так и для новых, быстро развивающихся: сетевое сотрудничество является важным инструментом и при мобилизации ресурсов, и при более эффективном использовании существующих ресурсов.

В практическом плане применение сетевого подхода в логистике дает возможность использовать графические методы планирования в сочетании с элементами вероятностных моделей распределения длительности отдельных этапов работ.

Система сетевого планирования и управления (СПУ) – совокупность научно обоснованных положений организации и управления производством, осно-

ванной на моделировании процесса с помощью сетевого графика на базе применения теории графов, теории вероятностей и компьютерных технологий.

Система СПУ позволяет формировать календарный план реализации сложного комплекса работ, определять и мобилизовать резервы времени, предупреждать возможные срывы в ходе работ, осуществлять оперативную корректировку планов.

Первоначально разработка СПУ вызывалась необходимостью обоснованного прогнозирования срока окончания крупных бизнес-проектов, однако по мере развития этих систем и компьютерных технологий они стали применяться для решения значительно более широкого круга задач. Будучи эффективным средством планирования и управления, сетевые методы вместе с тем отличаются простотой и доступностью, что в немалой степени способствовало их быстрому освоению на практике. В настоящее время возможно применение СПУ как в форме однократного использования сетевых методов и моделей, так и в форме постоянно действующей системы СПУ как составной части более сложных систем управления. В этом случае методы СПУ сочетаются с применением ряда экономико-математических методов, в первую очередь таких, в которых использование сетевых моделей особо показательно и результативно (теория массового обслуживания).

Преимущества СПУ весьма велики, поскольку система позволяет:

- сформировать календарный план реализации сложного бизнес-проекта;
- определить и мобилизовать резервы времени, материальных, финансовых, информационных, трудовых ресурсов;
- осуществить реализацию логистического принципа "точно в срок" с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе реализации проекта;
- производить оперативную реализацию бизнес-проекта;
- повышать эффективность менеджмента при четком распределении ответственности между руководителями разного уровня и исполнителями и необходимом делегировании полномочий.

Особенностью методов СПУ является не только моделирование всего комплекса работ, но и выявление тех участков, от которых в наибольшей степени зависит выполнение всего бизнес-проекта в установленные сроки. Этот метод учитывает все многообразие связей между отдельными работами, позволяет оценить влияние отклонения от плана на дальнейший ход работы и способствует оптимизации процесса управления всем ходом работ.

Основным элементом системы СПУ является сетевая модель, отображающая с любой степенью детализации план выполнения некоторого комплекса взаимосвязанных работ, заданного в специфической форме сети, наглядное изображение которой представляет собой сетевой график. Сетевым графиком называется наглядное изображение последовательности и взаимной логической связи всех работ, выполняемых в процессе разработки и получаемых при этом результатов, вплоть до достижения конечной цели. Различают системы СПУ с детерминированными и вероятностными моделями.

Всем моделям свойственны общие принципы:

- по каждому объекту составляются сетевые графики – условные экономико-математические модели, отражающие весь ход выполнения работ от начала до завершения;
- сроки проведения работ по отдельным этапам определяются исходя из конечного срока;
- при составлении сетевого графика используются следующие исходные материалы: задание на проектирование, проектно-конструкторская документация, проекты производства работ, действующие технологические процессы, графики поставок ресурсов, оборудования, документации.

Главными элементами сетевого графика являются понятия «событие» и «работа». Термином «работа» обозначается совокупность приемов и действий, необходимых для выполнения конкретной задачи или достижения определенной цели. Работа выражает сложное понятие и подразделяется на работу-действие, работу-ожидание и зависимость (фиктивную работу).

Работа-действие – процесс, происходящий во времени и требующий затрат ресурсов (материальных, информационных, финансовых, трудовых). Каждая работа-действие конкретна, определённа, имеет ответственного исполнителя. Она переводит одно событие в другое и на сетевом графике изображается сплошной линией со стрелкой. Примеры подобной работы: закупка материальных ресурсов, изготовление конечной продукции, испытание конструкции.

Работа-ожидание – процесс, происходящий во времени, но не требующий ресурсных затрат. Работа-ожидание переносит событие во времени и на сетевом графике также изображается сплошной линией со стрелкой. К таким работам относятся процесс сушки изделия естественным путем после покраски, твердение бетона при строительных работах.

Зависимость (фиктивная работа) показывает логическую связь между двумя или несколькими событиями; не требует ресурсных и временных затрат, но указывает на то, что возможность начала одной работы непосредственно зависит от результатов другой. Ее продолжительность принимается равной нулю и на сетевом графике она изображается пунктирной линией со стрелкой.

Термином «событие» обозначается некоторый итог, результат, состояние, момент завершения процесса, которым заканчивается какая-либо работа. Событие отражает этап выполнения комплекса работ, причём этот результат должен быть достаточным для начала последующей работы. Иначе говоря, событие может свершиться только тогда, когда закончатся все работы, ему предшествующие, а последующие работы могут начаться только тогда, когда событие свершится. Для всех непосредственно следующих за ним работ событие является начальным или предшествующим, а для всех непосредственно предшествующих ему работ – конечным или последующим. Событие не имеет продолжительности, совершается как бы мгновенно; оно должно иметь точную формулировку, включающую в себя результат всех непосредственно предшествующих ему работ.

События могут быть простыми и сложными. Простое событие характеризуется результатом выполнения одной работы, а сложное событие – двух и более работ. Среди событий выделяют исходное и завершающее событие. Исходное событие не имеет предшествующих работ и событий, относящихся к отраженному в сетевой модели комплексу работ. Завершающее событие не имеет последующих работ и событий.

Если в сетевой модели нет числовых оценок, то такая сеть называется структурной. Однако чаще всего используются сети, в которых заданы оценки продолжительности работ (указываемые в часах, неделях, месяцах и т.д. над соответствующими стрелками), а также оценки других показателей (трудоемкости, стоимости). Ориентация и размеры стрелок (топология сети) принципиального значения не имеют, так же как сетевой график не имеет масштаба.

При построении сетевого графика необходимо соблюдать целый ряд общепринятых правил:

- 1) только исходные события не имеют входящих стрелок, т.е. не должно быть событий (кроме исходного), которым не предшествует хотя бы одна работа;
- 2) только конечные события не имеют выходящих стрелок, т.е. не должно быть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего;
- 3) каждая работа должна иметь предшествующее и последующее события;
- 4) не должно быть контуров и петель, соединяющих события с ними же самими, так как это означает, что условием начала некоторой работы является её же окончание;
- 5) любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой. Нарушение этого условия приводит к появлению на сетевом графике параллельных работ, которые могут значительно отличаться по затрачиваемым ресурсам. Для устранения этого нарушения вводится фиктивное событие, фиктивная работа и одна из параллельных работ замыкается на это фиктивное событие.

### Технология сварочных работ при ремонте.

#### Термическая обработка и контроль качества сварных соединений

#### Практическая работа 5

#### Решение задач с помощью диаграммы железо-углерод и диаграммы нагрева чистого Fe

*Цель работы:* решение задач с помощью диаграммы железо-углерод и диаграммы нагрева чистого Fe.

#### Методические указания

К электросварочным работам на объектах, поднадзорных Госгортехнадзору, могут допускаться только те сварщики, которые сдали испытания в соответствии с «Правилами испытания электросварщиков и газосварщиков», утвержденными Госгортехнадзором СССР.

Женщины к производству электросварочных работ внутри замкнутых пространств (барабаны, цистерны, баки, танки, отсеки сосудов и т. п.) не допускаются.

Допуск к работе по электросварке, газозащитной резке и воздушно-дуговой строжке вновь поступающих и переводимых с другой работы рабочих разрешается только после соответствующего обучения, проведения инструктажа и проверки знания требований техники безопасности с оформлением в специальном журнале. Не реже чем через каждые 3 мес. администрация обязана проводить повторный инструктаж рабочих-сварщиков по технике безопасности. При выполнении работ, связанных с ручной дуговой электрической сваркой, необходимо учитывать основные опасные моменты, приводящие к тяжелым последствиям.

***Поражение человека электрическим током при прикосновении к токоведущим частям электрической цепи, находящейся под напряжением***

Опасность поражения увеличивается с повышением напряжения, с увеличением площади соприкосновения человека с токопроводящим контактом (например, при сварке внутри сосуда, когда сварщик сидит или лежит на металле, не пользуясь резиновым ковриком), с ухудшением качества и состояния спецодежды и др.

К числу мероприятий, предупреждающих случаи поражения электрическим током, относятся:

- а) надежная изоляция всех проводов, питающих источники тока и сварочную дугу;
- б) заземление корпусов сварочных машин и установок;
- в) обеспечение хорошей электро- и теплоизоляции электрододержателя;
- г) обеспечение сварщика, работающего в особо опасных помещениях и закрытых сосудах, резиновыми ковриками, диэлектрическими ботами (галошами), резиновыми подлокотниками, наколенниками, диэлектрическим подшлемником, сухой спецодеждой и освещением от низковольтной установки, не превышающей 12 В.

При этом электросварочная установка должна иметь электрическую блокировку, обеспечивающую автоматическое включение сварочной цепи при соприкосновении электрода со свариваемым изделием и автоматическое отключение сварочной цепи при холостом ходе, либо понижение напряжения в сварочной цепи до 12 В. Кроме того, у входа в закрытый сосуд должен быть однополюсный рубильник, установленный на питающем сварочную дугу кабеле, и дежурить наблюдающий.

***Поражение глаз и лица сварщика и окружающих его рабочих лучистой энергией электрической дуги***

Действие лучей электрической дуги сказывается на расстоянии до 10 м, и чем меньше расстояние, тем больше опасность поражения глаз и кожи. При непосредственной близости человека к электрической дуге достаточным временем для поражения глаз являются 10 - 15 секунд.

К мерам, предупреждающим поражение глаз, относятся:

а) защита глаз и лица специальными щитками-масками или шлемами-масками со специальными темными стеклами, выпускающимися в соответствии с ГОСТ 9497-60;

б) для защиты зрения сборщиков и подсобных рабочих должны предусматриваться переносные щиты.

***Отравление вредными газами и пылевидными окислами металла, выделяющимися при сварке***

При сварке выделяется большое количество газов и пылевидных летучих окислов металлов, составы которых зависят от марки электродных покрытий. Наиболее вредной составляющей электродных покрытий и флюсов является плавиковый шпат, дающий выделение фтористых соединений  $FSi_4$  и  $HF$ , действующих на дыхательные пути. Вредными составляющими являются также и окиси марганца ( $MnO$ ,  $Mn_2O_3$ ), кремния ( $SiO_2$ ), азота ( $NO$ ), углерода ( $CO$ ,  $CO_2$ ), а при сварке цветных металлов и их сплавов – окислы цинка ( $ZnO$ ), меди ( $Cu_2O$ ,  $CuO$ ), свинца ( $PbO$ ,  $PbO_2$ ) и др.

Для защиты рабочей зоны производственных помещений от вредных выделений газов и пылевидных окислов в процессе сварки необходимо:

а) обеспечивать местную или общую приточно-вытяжную вентиляцию с таким расчетом, чтобы средняя запыленность не превышала 2 - 5 мг/л воздуха и содержание  $MnO$  было не более 0,3 мг/л;

б) при работе в замкнутых сосудах предусматривать особо тщательно переносную местную вентиляцию;

в) при сварке меди, её сплавов и свинца пользоваться респираторами с химическими фильтрами.

***Ожоги от разбрызгивания металла и шлака*** в процессе сварки представляют реальную опасность, поэтому во избежание несчастных случаев необходимо выполнять следующие правила:

а) сварщик должен быть обеспечен спецодеждой из плотной специальной ткани;

б) брюки должны быть навыпуск и закрывать обувь;

в) карманы на спецодежде должны закрываться клапанами;

г) ботинки должны быть плотно зашнурованы.

***Опасность от взрывов***

Во избежание этой опасности необходимо:

а) не разрешать сварку сосудов, находящихся под давлением;

б) запрещать ремонт и сварку аппаратуры и сосудов из-под нефтепродуктов и других горючих веществ без предварительного тщательного удаления путем промывки горячей водой всех остатков горючих веществ и нефтепродуктов;

в) не производить сварочных работ вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ.

г) не производить без разрешения пожарной охраны сварочных работ в помещениях с повышенной пожарной опасностью.

***Ушибы и ранения в процессе сборочно-сварочных работ***

Во избежание указанных повреждений необходимо:

- а) использовать для работы исправный инструмент в такелаж;
- б) пользоваться при сбивании шлака защитными очками с простыми стеклами;
- в) соблюдать осторожность при кантовке тяжелых свариваемых деталей и изделий;
- г) работы на высоте выполнять только с исправных лесов, площадок; в случае необходимости пользоваться только проверенными поясами, лестницами, стремянками.

## Тема 1.9. Ремонт роторов паровых турбин

### Практическая работа 6

#### Построение кривой прогиба ротора

*Цель работы:* построение кривой прогиба ротора.

#### Методические указания

Контроль технического состояния ротора. Контроль валовых элементов ротора

Контроль технического состояния ротора включает в себя комплекс проверочных операций разного назначения. После укладки ротора на специальные стойки все детали ротора очищаются и промываются от солей, а затем продуваются сжатым воздухом. Детали ротора подвергаются стилоскопическому контролю и дефектоскопии, а также визуальному осмотру [3]. При осмотре ротора проверяется надежность крепления его деталей. Шейки ротора осматриваются с целью выявления повреждений в виде царапин, рисок, задиров, коррозии. Проверяются также диаметр и эллипсность шеек ротора. Значения эллипсности и конусности шеек не должны превышать 0,02 мм. Превышение указанного значения приведет к нарушению работы подшипников. Возникновение эллипсности и конусности является следствием неравномерности их износа. Эти дефекты шеек лучше всего устраняются их проточкой на токарном станке. Проверка биения и прогиба ротора обычно выполняется в корпусе цилиндра, когда ротор лежит в собственных подшипниках. При проверке биения и прогиба ротора необходимо убедиться в отсутствии эллипсности и конусности его шеек (не более 0,02 мм), задеваний ротора за уплотнения и осевого смещения ротора, а также в достаточной плотности посадки вкладышей в расточках подшипников. Ограничения осевого смещения ротора добиваются с помощью медных пластин, закрепленных на фланцах корпусов подшипников и упертых в галтели вала. Места замера и допустимые значения биения ротора указываются в формулярах завода-изготовителя. При отсутствии таких указаний для замеров выбираются сохранившиеся после механической обработки поверхности ротора, не имеющие повреждений. Примерные места замеров радиального биения ротора приведены на рис. 2. Измерение биения выполняется в нескольких радиальных плоскостях, количество которых обычно равно числу болтов соединительной муфты. Перед замерами биения окружность каждого проверяемого сечения ротора разбивается на части. Отметки наносятся по образующим

цилиндрических поверхностей ротора, лежащим в одной продольной плоскости с осями отверстий под болты соединительной муфты.

Начальное положение ротора (отметка 1) обычно указывается кернением на полумуфте. У турбин с автоматами безопасности бойкового типа это положение устанавливается по бойкам. После поворота ротора на  $360^\circ$  повторное показание индикатора в точке 1 должно совпадать с первоначальным. Этот замер контролирует правильность измерений. Если повторное показание индикатора на отметке 1 не получается равным начальному, то при проворачивании ротора индикатор был сбит. В этом случае необходимо проверить отсутствие поперечных и осевых смещений ротора при его проворачивании.

После окончания измерения выполняется подсчет радиального биения ротора для каждого проверяемого сечения. Значение биения подсчитывается как алгебраическая разность показаний индикатора в диаметрально противоположных точках сечения. Максимальное радиальное биение будет в плоскости максимальной разности показаний индикатора. Отметка с максимальным показанием индикатора – место максимального биения.

**Пример.** Показания индикатора при проверке радиального биения в месте б (см. рис. 2) ротора высокого давления паровой турбины. По результатам измерений максимальное значение биения составляет  $0,515 - 0,48 = 0,035$  мм, а место максимального биения находится в точке 8.

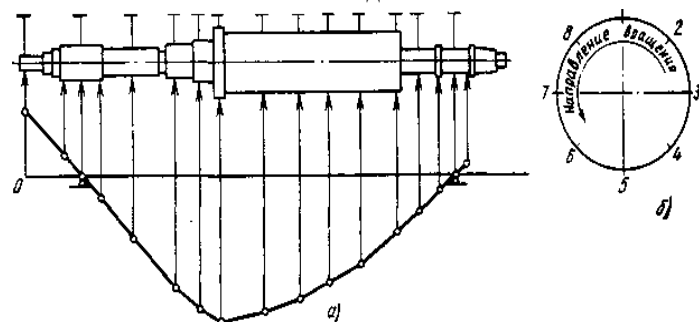


Рис. 2 Места замера и построение кривой прогиба:  
а) - места замера;  
б) - отметки установки индикатора

Значение прогиба -  $0,0175$  мм. Точное место и направление прогиба можно определить построением кривой прогиба, которая строится по измеренным значениям радиального биения в контролируемых сечениях. Значение прогиба равно половине значения биения.

На рис. 2 показано построение кривой прогиба ротора для одной из плоскостей его радиального продольного сечения. Если значения максимального биения каждого проверяемого поперечного сечения ротора лежат в одной радиальной плоскости продольного его сечения, то имеется прогиб без скручивания вала. Если значения максимальных биений лежат в разных радиальных плоскостях продольного сечения ротора, то имеет место прогиб с одновременным скручиванием вала. В таком случае кривая прогиба строится для всех плоскостей продольного сечения ротора. Допустимые значения биения ротора по контролируемым сечениям устанавливаются заводом-изготовителем турбины. Когда прогиб ротора выходит за допустимые пределы, выполняется его правка.



Выбор способа правки зависит от значения прогиба, диаметра, длины, материала вала, конструкции и степени повреждения ротора. В практике ремонтных работ находят применение следующие методы правки ротора: наклеп, термический и термомеханический методы, релаксация напряжений. Проверка биения торцевых поверхностей ротора обычно осуществляется одновременно с проверкой его радиального биения и по тем же радиальным плоскостям продольных сечений (точки замеров должны соответствовать номерам соединительных болтов полумуфты ротора). Замеры биения торцевых поверхностей упорного диска, полумуфт, гребней указателей осевого сдвига и относительных тепловых расширений производятся индикаторами часового типа.

## Тема 1.10. Восстановление зазоров между статором и ротором паровой турбины

### Практическая работа 7

#### Расчёт центровки валопровода по полумуфтам

*Цель работы:* расчёт центровки валопровода по полумуфтам.

#### Методические указания

##### Ремонт муфт

От состояния муфт и качества их сборки в значительной степени зависит вибрационное состояние паротурбинного агрегата. Состояние муфты проверяется во время осмотра при её разборке, а также измерением биения радиальных и торцевых поверхностей роторов при выполнении ряда контрольных операций. К числу операций контроля за состоянием муфты относятся: проверка биения торцевых поверхностей полумуфты, проверка правильности соединения роторов, маятниковая проверка. В случае обнаружения несоосности роторов проверяется концентричность центрирующей заточки полумуфты и шейки ротора, центрирующего буртика полумуфты и шейки ротора.

##### Измерение биения торца полумуфты

Контроль правильности соединения роторов выполняется при проверке их несоосности путем измерения радиального биения попарно сболченных роторов в местах, указанных в формуляре. Такими местами могут быть любые обработанные цилиндрические поверхности, в том числе поверхности шеек и полумуфт. Для этой цели снимаются крышка и верхние вкладыши подшипников около муфты. Шейки (или полумуфты) размечаются и нумеруются в соответствии с отверстиями под соединительные болты муфты. Один замер радиального биения каждой из шеек (полумуфт) выполняется отдельно при разболченной муфте. Для другого измерения муфта должна быть сболчена с контролем затяжки соединительных болтов по их удлинению. При сболченной муфте выкатывается нижняя половина вкладыша подшипника со стороны полумуфты более легкого ротора, после чего и производится измерение радиального биения по точкам разметки. По результатам двух замеров биения определяется несоосность в соединении роторов как разность замеров биения в свободном и сболченном состояниях муфты для каждой отметки по окружности контролируемой поверхности. Направление несоосности роторов ориентируют по

болту, вблизи которого расположена радиальная плоскость с измеренным максимальным значением биения. Если несоосность превышает 0,03 мм, необходимо выяснив причину, устранить её. Проверяется концентричность бурта и выточки полумуфта относительно шейки ротора. Проверка выполняется с помощью индикатора. Неконцентричность как бурта, так и выточки относительно шейки ротора с учетом её эллиптичности не должна превышать 0,02 мм. После исправления неконцентричности бурта или выточки на полумуфтах несоосность роторов устраняется путем смещения отверстий под соединительные болты. Для этой цели сопрягаемые роторы центрируют по полумуфтам точно в нуль. Муфту временно собирают на четырех болтах и приступают к обработке (райберовке) отверстия, имеющего наименьшее смещение, цилиндрическими развёртками. Для райберовки используются цилиндрические развёртки, различающиеся по диаметру на 0,1 - 0,15 мм. После подготовки первого отверстия в него подгоняется и вставляется новый болт. Новый болт крепят, после чего приступают к райберовке второго отверстия, диаметрально противоположного первому. После подгонки и установки всех болтов производится контрольная проверка правильности соединения роторов путем проверки коленчатости. Эта операция предваряет центрирование роторов валопровода по полумуфтам со всеми необходимыми поправками. Маятниковая проверка проводится с целью определения качества сборки муфты и в частности определения состояния торцевых поверхностей полумуфта. При этом проверяют биения свободного конца ротора (шейки), присоединенного к другому ротору через жесткую муфту, которой обычно соединяют роторы цилиндров высокого и среднего (или низкого) давления в случае применения для них трехопорной конструкции, а также роторы цилиндра низкого давления и генератора. Проверка биения передней шейки ротора высокого давления выполняется после проверки центрирования роторов по полумуфтам. Проверка биения передней шейки ротора низкого давления производится после его центрирования с ротором генератора, райберовки отверстий (при необходимости) и сборки муфты.

Достоверность проверки биения свободного конца ротора обеспечивается равномерной затяжкой болтов жесткой муфты, которая контролируется по мере их удлинения. Биение свободного конца проверяемого ротора замеряется индикатором, установленным у его передней шейки, при удаленных вкладышах подшипников этого ротора. Нижние половины вкладышей подшипников удаляются при подвешивании конца ротора на подъемном устройстве. Перед подъемом ротора с помощью устройства или крана на высоту, необходимую для выкатывания вкладыша переднего подшипника, положение ротора фиксируется по уровню и индикатору. После выкатывания нижней половины вкладыша передний конец ротора должен быть возвращен в положение, которое он занимал до подвески на устройство. Биение свободного конца ротора замеряется при вращении ротора с помощью мостового крана в точках шейки, расположенных на поверхности против болтов муфты. Максимальное суммарное отклонение ротора от оси турбины в обе стороны равно маятниковому биению ротора.

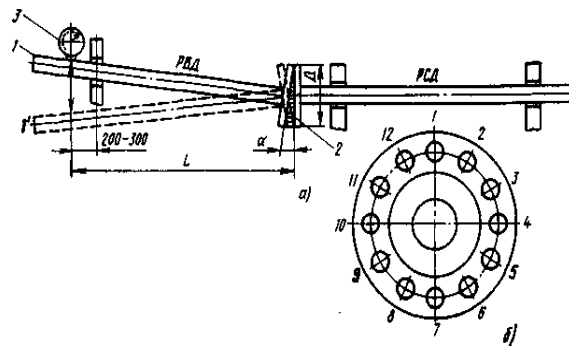


Рис 3 Полумуфта  
 а) значение маятниковое бие-  
 ния;  
 б) диаметр муфты.

Если перекос превышает рекомендованное заводом предельное значение, то определяют полумуфту, на которой есть перекос, и применяют проточку торца резцом. Если перекос торцов имеет значение до 0,06 мм, то нет необходимости определять полумуфту (рис. 3)

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. В. Н. Жилин, В. М. Семенов Котельные установки электростанций: Учебник для техникумов – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 288с.
2. Б.Э. Капелович, И.Г. Логинов Эксплуатация и ремонта паротурбинных установок 1988г Учебник для техникумов – 2-е изд., перераб. – С.1988г. 338 с.
3. В. И. Галкин, В. Е. Куликов Эксплуатация и ремонт котельных установок. Учебник для техникумов – 6-е изд., перераб. – К. 1983г. – 228 с.
4. Энгель-Крон И.В Ремонт паровых турбин. Учебник для техникумов – 3-е изд., перераб. – М. 1981г. – 258 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания	3
Практическая работа 1	3
Практическая работа 2	5
Практическая работа 3	6
Практическая работа 4	9
Практическая работа 5	12
Практическая работа 6	14
Практическая работа 7	16
Информационное обеспечение	19