

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

=====

Кафедра «Тепловые электрические станции»

С.А. Качан

**РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕВОГО ГРАФИКА
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПАРОТУРБИННЫХ
УСТАНОВОК**

Методическое пособие
по выполнению курсовой работы по дисциплине
«Технология монтажа и ремонта оборудования ТЭС»
для студентов специальности
1–43 01 04 – «Тепловые электрические станции»

Минск 2008

УДК 621.165.004.67 (075.8)
ББК 31.363я7
К 30

Рецензенты:

А.В. Седнин, Л.А. Тарасевич

Качан, С.А.
К 30 Расчет и построение сетевого графика капитального ремонта паротурбинных установок: методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Технология монтажа и ремонта оборудования ТЭС» для студентов специальности 1–43 01 04 – «Тепловые электрические станции» / С.А. Качан. – Мн.: БНТУ, 2008. – 64 с.

ISBN 978-985-479-791-5

Курсовая работа, выполняемая студентами в рамках изучения дисциплины «Технология монтажа и ремонта оборудования ТЭС», посвящена сетевому планированию и управлению ремонтными работами и предусматривает разработку сетевых графиков капитального ремонта основного оборудования ТЭС.

В настоящем пособии изложены методические основы расчета и построения сетевых графиков, а также рассматривается технологическая последовательность и характеристика работ, производимых при капитальном ремонте паротурбинных установок со вспомогательным оборудованием.

В приложении приведены сетевой график и описание технологического процесса капитального ремонта на примере турбоустановки ПТ-60-130/13, а также описание основных повреждений и способов восстановления узлов паротурбинного оборудования.

Пособие предназначено для студентов дневного и заочного отделений, обучающихся по специальности 1–43 01 04 «Тепловые электрические станции».

УДК 621.165.004.67 (075.8)
ББК 31.363я7

ISBN 978-985-479-791-5

© Качан С.А., 2008
© БНТУ., 2008

Список сокращений

ВПУ – валоповоротное устройство
КИП – контрольно-измерительные приборы
ПВД – подогреватели высокого давления
ПНД – подогреватели низкого давления
РВД – ротор высокого давления
РСД – ротор среднего давления
РНД – ротор низкого давления
СПУ – сетевое планирование и управление
ЦВД – цилиндр высокого давления
ЦСД – цилиндр среднего давления
ЦНД – цилиндр низкого давления
ЧВД – часть высокого давления
ЧСД – часть среднего давления
ЧНД – часть низкого давления

В в е д е н и е

Основными задачами организации ремонта являются сокращение сроков простоя оборудования, повышение производительности труда, сокращение материальных и финансовых затрат на проведение ремонта при одновременном обеспечении высокой надежности и экономичности отремонтированного оборудования.

Для выполнения этих задач ремонт энергетического оборудования должен организовываться по системе сетевого планирования и управления (СПУ) [1], которая обеспечивает возможность [2]:

- увязывать объемы работ и сроки их выполнения с необходимыми для этого материальными и людскими ресурсами;

- объективно определять численность персонала, необходимого для выполнения запланированного объема работ в заданный срок, или минимально возможный срок окончания запланированного объема работ при заданной численности персонала;

- на любой стадии ремонта выявлять работы, которые задерживают срок его окончания;

- управлять ремонтом на основе анализа хода ремонтных работ путем принятия необходимых мер для обеспечения выполнения работ в плановые сроки с наименьшими затратами.

Для более глубокого изучения технологии капитального ремонта энергетического оборудования и освоения методики расчета и разработки сетевых графиков, в рамках изучения курса «Технология монтажа и ремонта оборудования ТЭС» предусматривается выполнение курсовой работы на тему «Расчет и построение сетевого графика капитального ремонта котло- или турбоагрегата».

Целью курсовой работы является: закрепление и расширение знаний студентов специальности 1–43 01 04 – «Тепловые электрические станции» по указанному курсу.

Основными **задачами** курсовой работы являются:

- освоение сетевых методов планирования и разработка сетевых графиков капитального ремонта энергоустановок;

- изучение технологического процесса проведения капитального ремонта основного оборудования, в том числе типовой номенклатуры работ, сверхтиповых работ и мероприятий по модернизации оборудования, а также приобретение навыков правильной координации ремонтных работ.

В данном методическом пособии рассматриваются вопросы расчета и построения сетевого графика капитального ремонта паротурбинного оборудования.

Исходные данные для выполнения курсовой работы выдаются индивидуально преподавателем и включают:

- тип теплоэнергетической установки;

- ее техническое состояние (то есть те работы, которые необходимо произвести сверх типовой номенклатуры).

- продолжительность ремонта и численность ремонтного персонала (определяются на основе директивных документов с учетом предстоящего объема работ).

В объем *расчетно-пояснительной записки* должны быть включены следующие разделы:

- введение;
- основные принципы расчета и построения сетевых графиков;
- техническая характеристика подлежащего ремонту агрегата;
- выделение ремонтных узлов и определение технологической последовательности ремонтных работ;
- построение и расчет сетевого графика с выявлением критического пути и резервов времени;
- оптимизация сетевого графика;
- расчет и сведение баланса трудозатрат;
- заключение;
- литература.

Сетевой график ремонта энергоустановки с указанием календарных сроков планируемых работ и трудозатрат, необходимых для их выполнения, вычерчивается без масштабов на листе формата А1.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ

1.1. Элементы сетевого графика и задачи его оптимизации

Примерный вид сетевого графика капитального ремонта паровой турбины приведен на рис. ПЗ приложения.

Сетевой график (см. рис. ПЗ) строится без масштабов и размеров. Основными его элементами являются: работа (ремонтная операция) и событие.

При этом различают три вида **работ**:

- действительная работа, которая представляет собой технологический процесс, сопровождающийся затратой времени, а также трудовых и материальных ресурсов. Изображается сплошной безмасштабной линией со стрелкой на конце;

- ожидание – характеризует процессы, сопровождающиеся только затратой времени. Означает необходимую паузу в рабочем процессе и не требует затрат труда и материальных ресурсов (например, процессы остывания оборудования, сушки после покраски, твердения бетона и т.п.). Графически ожидание изображается так же, как действительная работа, то есть безмасштабной линией со стрелкой на конце;

- фиктивная работа – логическая связь между двумя или несколькими работами (событиями), не требующая затрат труда, материальных ресурсов или времени. Указывает, что возможность одной действительной работы непосредственно зависит от результатов другой, и изображается безмасштабной пунктирной линией со стрелкой на конце.

На сетевом графике каждая из линий (работ) начинается и заканчивается кружками, которые называются событиями и имеют порядковую нумерацию.

Событие — момент завершения какого-либо процесса; отражает этап выполнения комплекса работ и является результатом одной или нескольких работ.

Событие может свершиться только тогда, когда закончатся все работы, ему предшествующие, а последующие работы могут начаться только после свершения данного события.

Отсюда двойственный характер события: для всех непосредственно предшествующих ему работ оно является конечным, а для всех непосредственно следующих за ним — начальным. При этом предполагается, что событие не имеет продолжительности и свершается как бы мгновенно.

На графике событие обозначается кружком диаметром около 10 мм, который делится на четыре сектора. В секторах указывается следующая информация:

- в верхнем – порядковый номер данного события (его шифр);
- в нижнем – порядковый номер предшествующего события, из которого к данному событию идет путь максимальной продолжительности;
- в левом – раннее время свершения события (или раннее время начала работы или нескольких работ, следующих после данного события);

- в правом – позднее время свершения события (или допустимая поздняя дата окончания работы или нескольких работ, предшествующих данному событию, и не ведущая к срыву сроков ремонта).

На основании этих данных каждая работа (стрелка) может быть обозначена двумя цифрами, одна из которых соответствует порядковому номеру события, обозначающего начало работы, а вторая — порядковому номеру события, обозначающего ее окончание.

Под каждой стрелкой кратко записывается содержание работы, а над нею в виде простой дроби указывается (см. рис. ПЗ):

- в числителе – количество смен, необходимых для выполнения работы;
- в знаменателе – количественный состав бригады, выполняющей указанную работу.

Таким образом, построение графика осуществляется соединением стрелок, где каждая работа (стрелка) характеризуется двумя событиями (кружками) — предыдущим и последующим.

Последовательность работ, характеризующихся непрерывной линией из стрелок и кружков, называется **путем**.

При этом различают:

- полный путь – с началом у исходного события и концом у завершающего;
- предшествующий данному событию путь – с началом у исходного и концом у данного события;
- следующий за данным событием путь – с началом у данного события и концом у завершающего события графика.

Полных путей в сетевом графике может быть несколько, в зависимости от возможностей параллельного ведения работ.

Продолжительность любого пути определяется суммой продолжительностей входящих в него работ. Для выполнения работ по каждому пути требуется различное время, поэтому по большинству путей создаются резервы времени, так как конечное событие, то есть окончание капитального ремонта в запланированный срок не может быть обеспечено до тех пор, пока не будут выполнены работы по всем путям.

Один из полных путей, который имеет наибольшую продолжительность составляющих его работ, называется **критическим**. Таких путей может быть несколько, и каждый из них определяет общую продолжительность проведения капитального ремонта, поскольку опоздание в выполнении лежащих на нем работ, приведет к задержке выполнения всего комплекса работ в срок.

На сетевом графике критический путь часто изображается утолщенной линией (см. рис. ПЗ).

Работы, находящиеся на критическом пути, не имеют запасов времени для своего выполнения и называются критическими. Работы, находящиеся на других параллельных путях, являются менее напряженными, так как имеют запас во времени и в определенной мере не влияют на конечный срок ремонта.

Если после составления сетевого графика будет выявлено, что продолжительность критического пути получается больше запланированной (нормативной)

продолжительности капитального ремонта, то критический путь подлежит **оптимизации по времени**.

Оптимизация производится путем уменьшения сроков выполнения работ, за счет увеличения числа рабочих, средств механизации, сменности работ, а также более детального разделения и параллельного выполнения части работ, то есть за счет людских и материальных ресурсов, сокращения резервов времени на наименее напряженных не критических путях.

После такого пересмотра производится новый анализ сетевого графика, при этом критический путь может изменить свое направление и пройти через другие события.

За критический принимается тот наиболее длинный путь, который не превышает запланированной продолжительности капитального ремонта. В противном случае приходится вновь искать средства для сокращения времени производства работ.

В отдельных случаях (при жестких ограничениях в ресурсах) окончательным результатом оптимизации может быть обоснование невозможности уложиться в заданный срок без устранения этих ограничений или пересмотра заданных объемов работ.

При организации ремонтов энергооборудования электростанций в качестве основного ограничения может выступить количество ремонтного персонала, и в случае его нехватки производится оптимизация сетевого графика по рабочей силе.

Цель **оптимизации по рабочей силе** — достижение равномерной загрузки работающих при условии сведения их числа к минимуму, при котором возможно выполнение намеченного объема работ в указанный плановый срок.

Оптимизация заключается в пересмотре начертания графика путем перепланировки последовательности работ, перераспределения численного состава бригад, что возможно лишь для параллельных работ при условии их однотипности, так как, например, переброска слесарей на работы, где требуются высококвалифицированные сварщики, лишена практического смысла.

В период ремонта на сетевом графике ход выполнения ремонтных работ отображается извилистой контрольной линией, на концах которой записывается дата проверки. Эта линия пересекает все пути сетевого графика так, что слева остаются работы, выполненные полностью или частично.

Таким образом, сетевой график при систематическом контроле дает точную информацию о состоянии хода работ в любой момент времени, позволяет быстро находить возникающие задержки и своевременно устранять трудности, грозящие срывом общего срока ремонта.

1.2. Правила разработки сетевых графиков ремонта оборудования

Начальным этапом создания сетевого графика капитального ремонта является разработка его структурной схемы.

При выполнении курсовой работы необходимо построить сетевой график капитального ремонта одного из агрегатов: турбины или котла с их вспомога-

ным оборудованием. Это оборудование делится на узлы, которые являются наименьшей частью структурной схемы агрегатного сетевого графика.

Например, при составлении сетевого графика капитального ремонта турбоагрегата можно выделить следующие узлы (см. рис. ПЗ):

- система регулирования;
- система парораспределения;
- маслосистема;
- цилиндры паровой турбины (в общем случае высокого (ЦВД), среднего (ЦСД) и низкого (ЦНД) давлений);
- вакуумная система (конденсатор, эжектора);
- вспомогательное оборудование (подогреватели системы регенерации высокого (ПВД) и низкого (ПНД) давления, сетевые подогреватели; насосы);
- трубопроводы и арматура.

Рассматривая структурную схему снизу вверх, то есть от наименьших структурных единиц к более крупным, сначала составляются узловые сетевые графики, в которые входят работы, необходимые при выполнении ремонта данного узла. Эти графики соединяются или, как принято говорить, сшиваются в один общий агрегатный сетевой график фиктивными работами.

Узловые графики капитального ремонта турбоустановки разрабатываются на основе анализа объема предстоящих работ и составляются с указанием всех технологических операций в том порядке, в каком они должны производиться при ремонте. При этом выделяются последовательности работ, которые могут выполняться одновременно и независимо друг от друга, то есть параллельно.

Составление сетевого графика начинается с разработки таблицы, в которой весь технологический процесс капитального ремонта по узлам агрегата представляется в виде перечня отдельных четко сформулированных работ, являющихся законченным технологическим этапом.

Пример такого перечня приведен в таблице П1 приложения.

Для каждой из работ должны быть определены трудовые затраты, необходимые исполнители, продолжительность выполнения, потребность в материалах, запасных частях, инструментах и т. д.

Кроме того, для установления технологической последовательности выполнения работ должно быть определено, что необходимо сделать до начала данной работы, какая работа будет выполняться после ее выполнения и какие работы могут выполняться параллельно с ней. Каждая работа должна начинаться после окончания работ, мешающих ее началу или без выполнения которых она не может быть начата.

Объем работы определяется из практики прошлых ремонтов. Если данная работа выполняется впервые, ее объем определяется руководителем ремонта вместе с мастером и бригадиром [3].

В процессе составления сетевого графика выявляются работы, которые могут оказаться более трудоемкими, лимитирующими срок окончания ремонта и требующими двух- или трех- сменной работы для выполнения их в намеченный срок.

Распределение бригад по сменам производится с таким расчетом, чтобы наибольшее количество работ производилось в дневной смене, обеспечивающей наибольшую производительность труда.

Назначение в две или три смены производится только на особо трудоемких работах и на параллельных работах, требующих одновременного использования оборудования.

На сетевом графике, изображенном на рис. П3, в основном принята дневная восьми часовая рабочая смена. Работы, выполняемые в несколько смен, отмечены в табл. П1.

Построение сетевых графиков осуществляется следующим образом:

- исходные события размещаются слева графика, а построение планируемого комплекса работ ведется направо;

- линии работ располагаются горизонтально или наклонно в направлении слева направо;

- все события сетевой модели нумеруются, в результате чего оказываются зашифрованными и все работы;

- нумерацию событий сетевого графика для удобства расчета следует выполнять упорядоченно (события нумеруют слева направо и сверху вниз, при этом, однако, нумерация одного и того же сетевого графика может быть различной).

При построении сетевого графика необходимо соблюдать ряд **правил**.

В сетевой модели не должно быть «тупиковых» событий, то есть событий, из которых не выходит ни одна работа, за исключением завершающего события. Здесь либо работа не нужна и ее необходимо аннулировать, либо не замечена необходимость определенной работы, следующей за событием для свершения какого-либо последующего события. В таких случаях необходимо тщательное изучение взаимосвязей событий и работ для исправления возникшей ошибки.

В сетевом графике не должно быть событий (кроме исходного), которым не предшествует хотя бы одна работа. Обнаружив в сети такие события, необходимо определить исполнителей предшествующих им работ и включить эти работы в сеть.

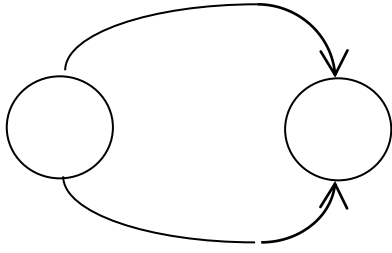
В сети не должно быть замкнутых контуров и петель, то есть путей, соединяющих некоторые события с ними же самими.

Любые два события должны быть непосредственно связаны не более чем одной работой–стрелкой. Нарушение этого условия происходит при изображении параллельно выполняемых работ. В этом случае рекомендуется ввести фиктивное событие и фиктивную работу, при этом одна из параллельных работ замыкается на это фиктивное событие (рис. 1.1).

В сети рекомендуется иметь одно исходное и одно завершающее событие. Если в составленной сети это не так, то добиться желаемого можно путём введения фиктивных событий и работ.

Фиктивные работы и события необходимо вводить и в ряде других случаев.

а) неправильно



б) правильно

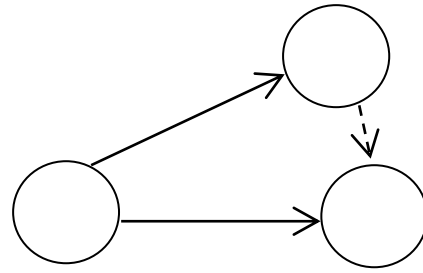


Рис. 1.1

Например, работы А и В (см. рис. 1.2) могут выполняться независимо друг от друга, но по условиям производства работа В не может начаться раньше, чем окончится работа А. Это обстоятельство требует введения фиктивной работы С.

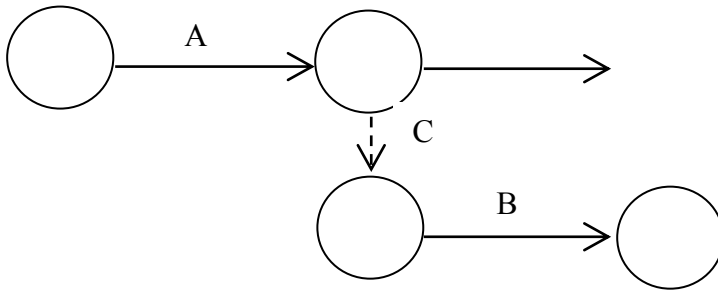


Рис. 1.2

1.3. Расчет сетевой модели и сведение баланса трудозатрат

После начертания первоначального варианта сетевого графика он зашифровывается, то есть вносится информация в сектора кружков (событий) в следующем порядке.

Вначале проставляется порядковая нумерация всех событий – то есть заполняется верхний сектор кружков. Так на сетевом графике, изображенном на рис. ПЗ, пронумеровано 50 событий.

Далее последовательно слева направо начиная с самого начального события определяется раннее время свершения каждого i -го события t_{pi} , то есть заполняется левый сектор кружков следующим образом (см. рис. 1.3).

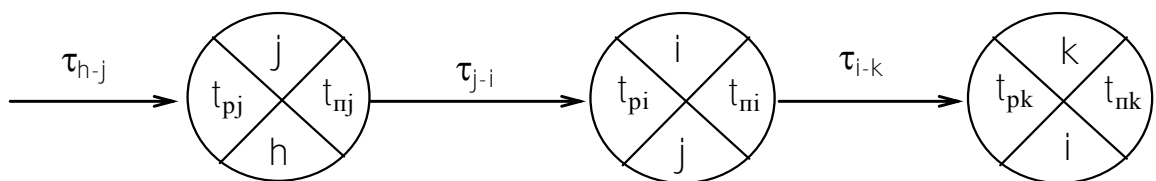


Рис. 1.3

Для начального события принимается $t_{p0} = 0$.

Для каждого i -го события

$$t_{pi} = t_{pj} + \tau_{j-i},$$

где j – событие, предшествующее i -му;

τ_{j-i} – продолжительность работы, предшествующей i -му событию.

Если к i -му событию подходят несколько работ, то за t_{pi} принимается максимальное, поскольку событие не может наступить, пока не будут произведены все приводящие к нему работы.

Например, на графике рис. ПЗ:

- для 11-го события $t_{p11} = t_{p0} + \tau_{0-11} = 0 + 1,5 = 1,5$;

- к 12-му событию подходят два пути, для которых $t'_{p12} = t_{p11} + \tau_{11-12} = 1,5 + 1,5 = 3$ и $t''_{p12} = t_{p50} + \tau_{50-12} = t_{p0} + \tau_{0-50} + \tau_{50-12} = 0 + 2 + 0 = 2$, поэтому принимаем $t_{p12} = t'_{p12} = 3$;

- к 13-му событию также подходят два пути, для которых $t'_{p13} = t_{p10} + \tau_{10-13} = 7 + 0 = 7$ и $t''_{p13} = t_{p12} + \tau_{12-13} = 3 + 6 = 9$, значит $t_{p13} = t''_{p13} = 9$;

- для 14-го события $t_{p14} = t_{p13} + \tau_{13-14} = 9 + 2 = 11$;

- к 15-му событию подходят три пути, для которых $t'_{p15} = t_{p14} + \tau_{14-15} = 11 + 16 = 27$, $t''_{p15} = t_{p17} + \tau_{17-15} = t_{p14} + \tau_{14-16} + \tau_{16-17} + \tau_{17-15} = 11 + 0 + 16 + 0 = 27$ и $t'''_{p15} = t_{p19} + \tau_{19-15} = t_{p14} + \tau_{14-18} + \tau_{18-19} + \tau_{19-15} = 11 + 0 + 15 + 0 = 26$, значит $t_{p15} = t'_{p15} = t''_{p15} = 27$.

Затем в нижний сектор вносится порядковый номер события, предшествующего данному по самому напряженному пути, то есть:

- когда к i -му событию подходит одна работа, то порядковый номер события, непосредственно предшествующего данному ($i - 1$);

- когда к i -му событию подходят несколько работ – номер события, определяющего наступление данного, то есть события, для которого величина $t_{pi} = t_{pj} + \tau_{j-i}$ максимальна.

Например, для 11-го события – это 0-е событие, для 12-го – 11-е, для 13-го – 12-е событие, а для 15-го это в равной степени события 14 или 17.

Если для заключительного k -го события (завершения капитального ремонта) t_{pk} превышает директивное (запланированное), то производится оптимизация сетевого графика.

Для оптимизированного сетевого графика раннее t_{pk} и позднее $t_{пк}$ время наступления заключительного k -го события совпадают, и числа в левом и правом секторах равны директивному времени, отведенному для проведения данного ремонта, $t_{pk} = t_{пк}$.

Так, для рассматриваемого сетевого графика на рис. ПЗ $t_{p37} = t_{п37} = 52$.

После оптимизации сетевого графика справа налево последовательно, начиная с конечного события, заполняются правые сектора кружков, то есть определяется позднее время наступления событий (см. рис. 1.3)

$$t_{ni} = t_{пк} - \tau_{i-k};$$

$$t_{nj} = t_{ni} - \tau_{j-i},$$

где τ_{i-k}, τ_{j-i} – продолжительность работ, выходящих из рассматриваемых событий.

Если таких работ несколько – то проставляется минимальное значение, поскольку событие не должно наступить позднее, чем должны начаться все следующие за ним работы.

Например,

$$t_{п36} = t_{п37} - \tau_{36-37} = 52 - 8 = 44;$$

$$t_{п35} = t_{п37} - \tau_{35-37} = 52 - 0 = 52;$$

$$t_{п34} = t_{п35} - \tau_{34-35} = 52 - 8 = 44.$$

Из 21-го события выходят две работы, поэтому принимаем $t_{п21}$ равным $t'_{п21}$, то есть минимальному из $t'_{п21}$ и $t''_{п21}$, где

$$t'_{п21} = t_{п36} - \tau_{21-36} = 44 - 2 = 42;$$

$$t''_{п21} = t_{п34} - \tau_{21-34} = 44 - 0 = 44.$$

Аналогично $t_{п20} = t'_{п20}$, где

$$t'_{п20} = t_{п21} - \tau_{20-21} = 42 - 8 = 34;$$

$$t''_{п20} = t_{п21} - \tau_{22-21} - \tau_{20-22} = 42 - 6 - 0 = 36$$

и т.д.

При этом, как это видно из графика на рис. ПЗ, на критическом пути, раннее и позднее время наступления каждого события совпадают, а на других путях возможен резерв времени $t_{pi} < t_{ni}$.

Расчет сетевого графика заключается в определении раннего и позднего времени начала и окончания всех работ, в том числе лежащих на критическом пути, запасов времени и календарных дат.

Раннее начало работы – самое раннее время начала работы, определяется продолжительностью самого длинного пути от начального события до предшествующего события данной работы. Это соответствует дню, следующему за датой раннего времени наступления предшествующего события.

Например, для работы (13-14):

$$t_{13-14}^{PH} = t_{p13} = \tau_{0-11} + \tau_{11-12} + \tau_{12-13} = 1,5 + 1,5 + 6 = 9,$$

а для работы (14-15):

$$t_{14-15}^{PH} = t_{p14} = \tau_{0-11} + \tau_{11-12} + \tau_{12-13} + \tau_{13-14} = 1,5 + 1,5 + 6 + 2 = 11,$$

т.е. работу (13-14) можно начать на 10-й, а (14-15) – на 12-й день.

Раннее окончание работы – время окончания работы, если она начата в ранний срок. Это соответствует раннему времени наступления последующего события.

Например, для работы (13-14):

$$t_{13-14}^{PO} = t_{p14} = t_{13-14}^{PH} + \tau_{13-14} = 9 + 2 = 11.$$

а для работы (14-15):

$$t_{14-15}^{PO} = t_{p15} = t_{14-15}^{PH} + \tau_{14-15} = 11 + 16 = 27.$$

то есть работа (13-14) может быть закончена в 11-й, а (14-15) – в 27-й день.

Позднее начало работы – самое позднее время начала работы, которое не вызовет задержки окончания ремонта объекта. Определяется разностью продолжительности критического пути $T_{кр}$ и самого длинного пути от предшествующего события данной работы до конечного события. Иными словами – это позднее время наступления предшествующего события.

Например, для работы (14-15)

$$t_{14-15}^{пн} = t_{п14} = T_{кр} - (\tau_{36-37} + \tau_{21-36} + \tau_{20-21} + \tau_{15-20} + \tau_{14-15}) = \\ = 52 - (8 + 2 + 8 + 7 + 16) = 11,$$

а для работы (18-19)

$$t_{18-19}^{пн} = t_{п18} = T_{кр} - (\tau_{36-37} + \tau_{21-36} + \tau_{20-21} + \tau_{15-20} + \tau_{19-15} + \tau_{18-19}) = \\ = 52 - (8 + 2 + 8 + 7 + 0 + 15) = 12,$$

то есть указанные работы необходимо начать не позднее 12-го и 13-го рабочих дней ремонта соответственно.

Позднее окончание работы – время окончания работы, если она начата в поздний срок.

Например, для работы (14-15):

$$t_{14-15}^{по} = t_{п15} = t_{14-15}^{пн} + \tau_{14-15} = 11 + 16 = 27,$$

а для работы (18-19):

$$t_{18-19}^{по} = t_{п19} = t_{18-19}^{пн} + \tau_{18-19} = 12 + 15 = 27.$$

Сопоставление ранних и поздних характеристик работ выявляет критический путь и запас времени.

Для работ, лежащих на критическом пути запасы времени отсутствуют. Для остальных работ запасы времени представляют собой разность поздних и ранних характеристик (начал и окончаний работ).

Общий запас времени – количество времени, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения общего срока простоя оборудования в ремонте.

Определяется как разность позднего и раннего начала работы или разность позднего и раннего окончания:

$$R_{18-19} = t_{18-19}^{пн} - t_{18-19}^{рн} = 12 - 11 = 1$$

или

$$R_{18-19} = t_{18-19}^{по} - t_{18-19}^{ро} = 27 - 26 = 1.$$

Частный запас времени – количество времени, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения раннего начала последующих работ (для случая, когда в событие "входят" две или более работы) и определяется разностью раннего начала последующей работы и раннего окончания данной работы.

После проведения таких расчетов определяются календарные даты выполнения капитального ремонта.

Для этого сетевой график строят под таблицей, проходящей через всю длину графика, в строках которой последовательно указываются:

- месяц и календарные дни проведения ремонта;
- дни ремонта – натуральными числами от единицы до последнего дня проведения ремонта, включая выходные и праздничные дни;
- рабочие дни – дни проведения ремонтных работ за исключением выходных и праздничных;
- количество задействованного персонала в каждый рабочий день.

При этом число рабочих дней меньше, чем дней ремонта на количество выходных и праздничных, выпадающих на время проведения ремонта.

Дни, в которые работы не производятся, допускается на графике не указывать, тогда из таблицы выпадают календарные дни, приходящиеся на выходные и праздничные.

События сетевого графика размещаются строго под найденным расчетным путем днем ремонта. При этом можно легко определить, какие работы предусмотрены в любой из календарных дней.

Количество персонала, задействованного в каждый рабочий день, находится суммированием числа работников, принимающих участие в выполнении работ в текущий день по всем путям сетевого графика. Это количество не должно превышать располагаемое (общее) число работников (заданное в условиях курсовой работы).

После построения, оптимизации и расчета сетевого графика определяются трудозатраты по проведению ремонтных работ по каждому узлу и агрегату в целом.

Трудозатраты рассчитываются в человеко–днях и находятся как сумма произведений длительности каждой из работ на количество выполняющего эти работы персонала.

Например, для ремонта системы регулирования в условиях сетевой модели рис. ПЗ трудозатраты составляют

$$P_{\text{регуляр}} = 1 \cdot 0 + 22 \cdot 2 = 44 \text{ человеко–дня,}$$

для ремонта ЦНД –

$$P_{\text{ЦНД}} = 3 \cdot 8 + 6 \cdot 8 + 15 \cdot 3 + 17 \cdot 4 + 15 \cdot 3 + 7 \cdot 6 + 6 \cdot 6 + 2 \cdot 6 = 317 \text{ человеко–дней,}$$

а для критического пути – ремонта ЦВД (с заключительными работами)

$$P_{\text{ЦВД}} = (3 \cdot 8 + 6 \cdot 8 + 7 \cdot 3 + 2 \cdot 8 + 16 \cdot 3 + 16 \cdot 6 + 15 \cdot 3 + 7 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 6 \cdot 2) + (2 \cdot 8 + 8 \cdot 12 + 8 \cdot 10) = 395 + 192 = 587 \text{ человеко–дней.}$$

Результаты расчета суммарных трудозатрат приведены в табл. 1.1.

Как видно, критический путь характеризуется наибольшими трудозатратами.

Рациональность составления сетевого графика можно оценить по соотношению необходимого для проведения работ количества человеко–дней к располагаемому.

В условиях рассматриваемого примера из 70 дней ремонта с учетом выходных и праздничных дней, принятое количество рабочих дней составляет 52. Мак-

симально возможное количество персонала, которое можно задействовать в каждый день – 42 человека, поэтому в рассмотренном примере располагаемое количество человеко–дней составляет $52 \cdot 42 = 2184$. Планируемое количество человеко–дней составляет 1881, что меньше располагаемого на 14%.

Таблица 1.1

Трудозатраты на проведение ремонтных работ в соответствии с сетевым графиком рис. ПЗ

Ремонтный узел	Трудозатраты, человеко-дни
Подготовительные работы	16
Система регулирования	44
Система парораспределения	68
Маслосистема	176
ЦВД	$395+192=587$
ЦНД	317
Вакуумная система	89
Вспомогательное оборудование	256
Арматура	192
Трубопроводы	136
Всего	1881

2. РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО ГРАФИКА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Технологический процесс капитального ремонта паровой турбины

Неполадки и повреждения, наиболее часто возникающие в процессе работы паротурбинной установки, а также технология и рабочие приемы производства ремонтных работ подробно изложены в [2 – 5] (см. также прил. 2).

Кратко рассмотрим технологическую последовательность капитального ремонта паровой турбины со вспомогательным оборудованием.

В общий объем работ по капитальному ремонту турбоагрегата входит следующее.

1) Подготовительные работы:

- разработка документации;
- проверка состояния обшивы, каркасов, площадок и фундаментов агрегата и вспомогательного оборудования, а также технического состояния грузоподъемных механизмов, транспортных средств, станков и т. д.;
- проверочные испытания и замеры показателей технического состояния турбоагрегата перед выводом его в капитальный ремонт: замер вибрации подшипников при нагрузках 100%, 75%, 50% и на холостом ходу, проверка состояния и работы системы регулирования при включенных отборах пара, работы защиты и автоматических устройств; наружный осмотр оборудования с контролем свободы тепловых расширений его частей, проверка технических показателей работы по контрольно-измерительным приборам, тщательное прослушивание турбины и генератора на полных и на малых оборотах, замер длительности выбега ротора турбины (обнаруженные дефекты и ненормальности отмечают в акте приемки турбоагрегата в ремонт);
- подготовка рабочих мест и ремонтных площадок, доставка инструмента, приспособлений, такелажа.

2) Ремонтные работы:

- вскрытие турбоагрегата;
- проверка зазоров и положения отдельных его частей;
- детальный осмотр состояния всех частей, чистка и устранение обнаруженных дефектов;
- замена и восстановление изношенных деталей;
- проведение сверхтиповых работ, а также мероприятий по реконструкции и модернизации, намеченных в процессе эксплуатации;
- сборка с проверкой и записью в формулярах всех зазоров и установочных данных;
- ремонт вспомогательного оборудования, трубопроводов, арматуры.

3) Заключительные работы:

- приемка из ремонта отдельных узлов и всего агрегата в целом;
- разборка и удаление лесов, подмостей, уборка с рабочих площадок оборудования, установленного на время ремонта;

- установка обшивы цилиндров и клапанов;
- очистка оборудования и рабочей зоны от мусора и отходов;
- настройка системы регулирования на неработающей турбине;
- снятие характеристик регулирования;
- проверка и испытание защитных устройств и окраска оборудования;
- проверка агрегата на ходу после ремонта и производство записей в соответствующих журналах и актах для отчетности по ремонту.

Началом ремонта и исходным событием сетевого графика является момент отключения турбоагрегата от сети (если агрегат выводится в ремонт из резерва, то началом ремонта считается время с момента получения диспетчерского разрешения на его вывод в ремонт).

При капитальном ремонте производится полная разборка турбоустановки и устранение всех дефектов для обеспечения ее надежной работы в предстоящий межремонтный период.

Планируемый объем работ зависит от технического состояния оборудования, однако при любом капитальном ремонте в обязательном порядке выполняется минимум работ, который называется номенклатурой или перечнем типовых работ.

В типовой объем капитального ремонта турбоагрегата входят следующие работы.

Полная разборка цилиндров с выемкой ротора и диафрагм, выполнение необходимых измерений и заполнение соответствующих формуляров.

Отметим, что к ремонту оборудования, работающего в условиях высоких температур, необходимо приступать только после его остывания. Это время используется для разборки кожухов, каркасов и внешней металлической обшивки цилиндров, снятия всех измерительных приборов, установленных на турбине, и пр. (Не дожидаясь полного остывания цилиндра высокого давления после останова турбины, можно приступить к ремонтным работам по конденсационному и регенеративному оборудованию. К работам по ЦНД можно приступать несколько ранее в связи с более низкими рабочими температурами этого цилиндра).

После снятия (в необходимых местах) изоляции с остывшего цилиндра приступают к его разборке. При этом вначале вскрывают подшипники, разболчивают полумуфты и проверяют центровку и осевой разбег роторов.

Затем вскрывают цилиндр и снимают верхнюю половину проточной части. Для турбин, имеющих двустенный корпус высокого давления, вначале разболчивается и снимается наружный корпус, затем - внутренний, а также верхние половины обойм наружного корпуса.

Перед выемкой ротора (и нижней половины обойм и диафрагм) снимается паспорт проточной части, то есть измеряются осевые и радиальные зазоры, и проверяется так называемый «бой» (или прогиб) ротора. Для роторов, соединенных жесткой муфтой, производят проверку биения переднего конца ротора («маятниковую» проверку).

Для примера на рис. 2.1 приведен фрагмент сетевого графика капитального ремонта турбины К-300-240 ЛМЗ (Ленинградского металлического завода), на ко-

тором описывается разборка цилиндров турбоагрегата с проводимыми при этом измерениями.

Подробное описание турбоустановки можно найти в [6]. Рассматриваемая турбина имеет сопловое парораспределение в ЦВД и дроссельное – в ЦСД, три выхлопа в конденсатор (из ЦСД и ЦНД), двустенный корпус ЦВД, жесткие муфты, соединяющие роторы ЦВД и ЦСД и ЦНД и генератора, полужесткую муфту, соединяющую роторы ЦСД и ЦНД; валопровод турбины уложен на пять опорных подшипников; между ЦВД и ЦСД расположен опорно-упорный подшипник; стопорные и регулирующие клапана установлены рядом с турбиной в виде отдельных блоков; ресиверные трубы от ЦСД к ЦНД расположены на уровне пола машзала, поэтому для вскрытия цилиндров не требуется их демонтажа.

На рис. 2.1 показано несколько отличное от примера рис. ПЗ обозначение трудозатрат, необходимых для производства работ: над стрелкой, обозначающей работу, в виде сложной дроби приводится необходимое число дней, а также количество занятого персонала в каждую смену в эти дни.

Например, работы 0-1, 0-10 и 0-18 соответствуют ожиданию, связанному с остыванием цилиндров, и трудозатраты здесь равны нулю. Работа 1-2 производится два дня в одну смену (вторую) четырьмя работниками. Работа 2-3 производится два дня бригадами из трех человек в две смены: вторую и третью. В первую смену указанная работа не производится. На осуществление работы 4-5 необходим один день, при этом задействуются 5 человек во вторую смену и 4 человека – в третью.

После полной разборки (выемки ротора и нижних половин обойм и диафрагм) разворачивается широкий фронт работ по **ремонту цилиндра**. При этом работы по ремонту корпуса, подшипников, ротора, обойм и диафрагм ведутся параллельно (см. рис. ПЗ).

Во время ремонта производится тщательный осмотр и проверка состояния всех частей, выявляются ненормальности, величины износа деталей, неудовлетворительные крепления и посадка деталей, которые могут отрицательно влиять на надежность и экономичность работы турбоустановки; при проверке состояния ротора в том числе контролируется и его осевой канал. При необходимости производится гидродинамическая очистка ротора, обойм и диафрагм; восстанавливаются усы уплотнений.

При разбалансировке ротора (проявляющейся в повышенной его вибрации во время работы) или после проведения ремонтных работ, которые могут привести к увеличению небаланса (например, замене лопаток турбинной ступени) ротор необходимо балансировать на специальном низкочастотном балансировочном станке, а во время пусковых работ осуществлять балансировку собранного валопровода в собственных подшипниках.

Корпус цилиндра зачищается для контроля металла, проверяется плотность его горизонтального разъема, а в необходимых случаях осуществляется шабрение. Производится осмотр опорных и упорных подшипников и устранение дефектов в них; мелкий ремонт соединительных муфт, замена болтов.

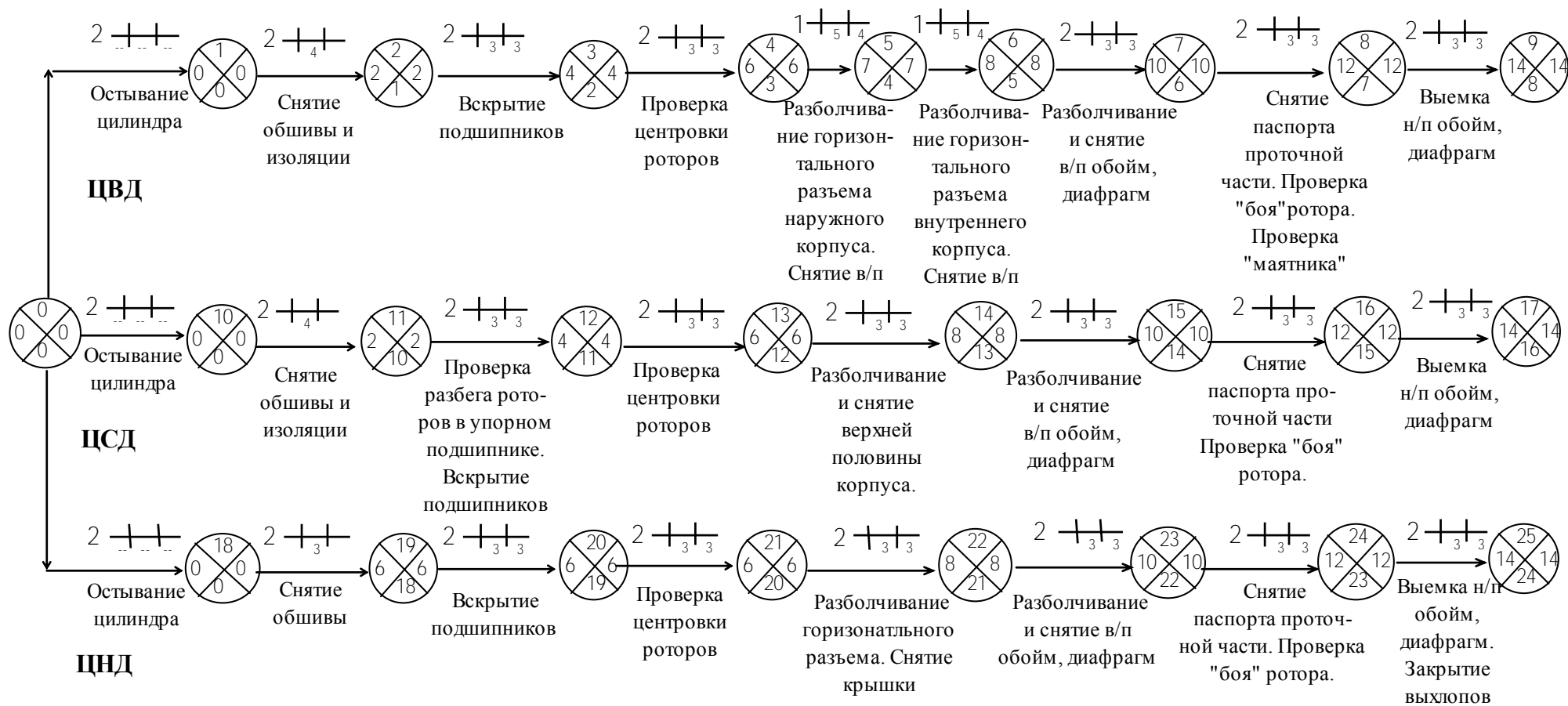


Рис. 2.1. Типовые работы при разборке цилиндров турбины К-300-240

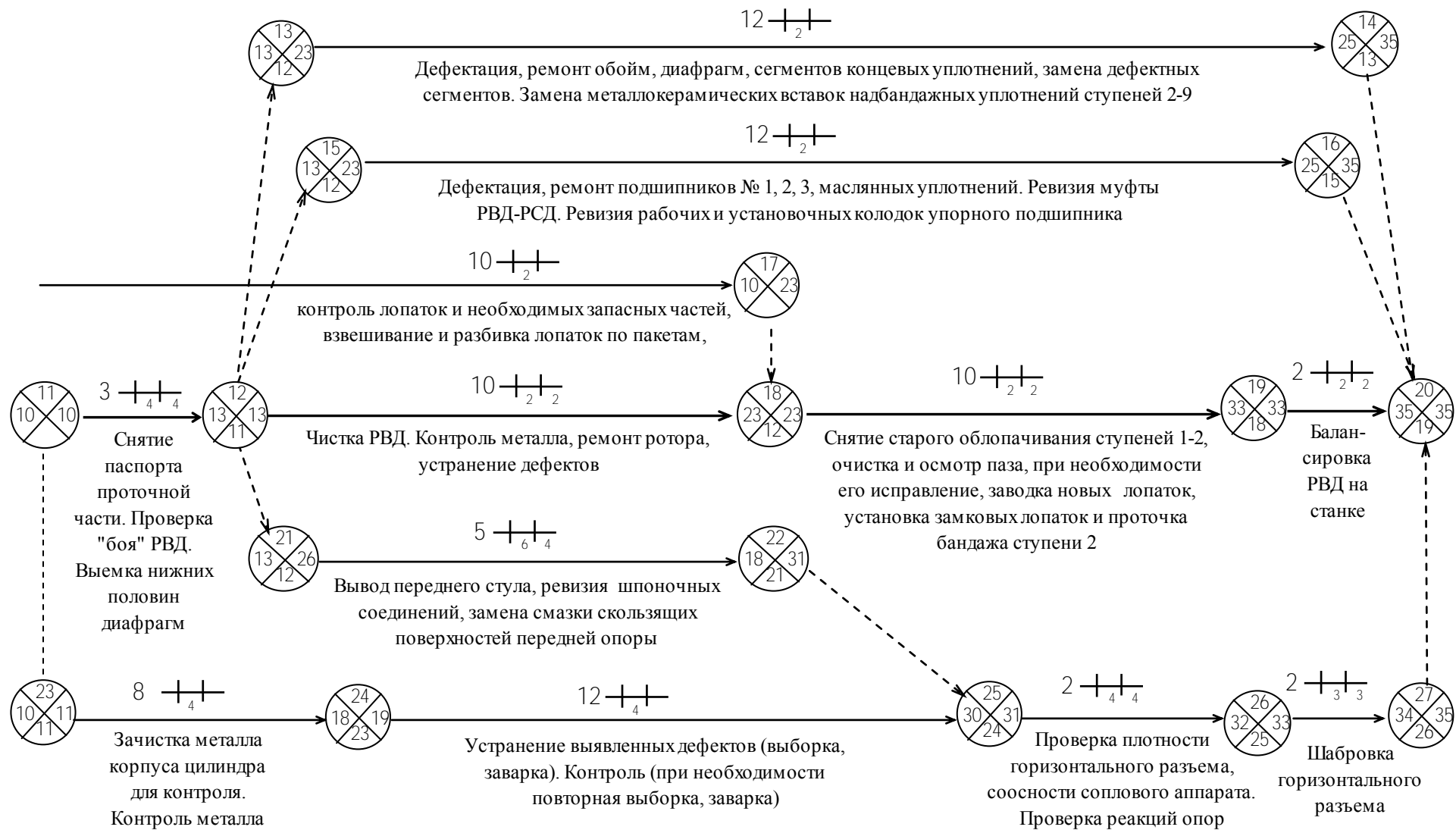


Рис. 2.2. Ремонт ЦВД турбины типа Т-100-130 со сверхтиповыми работами

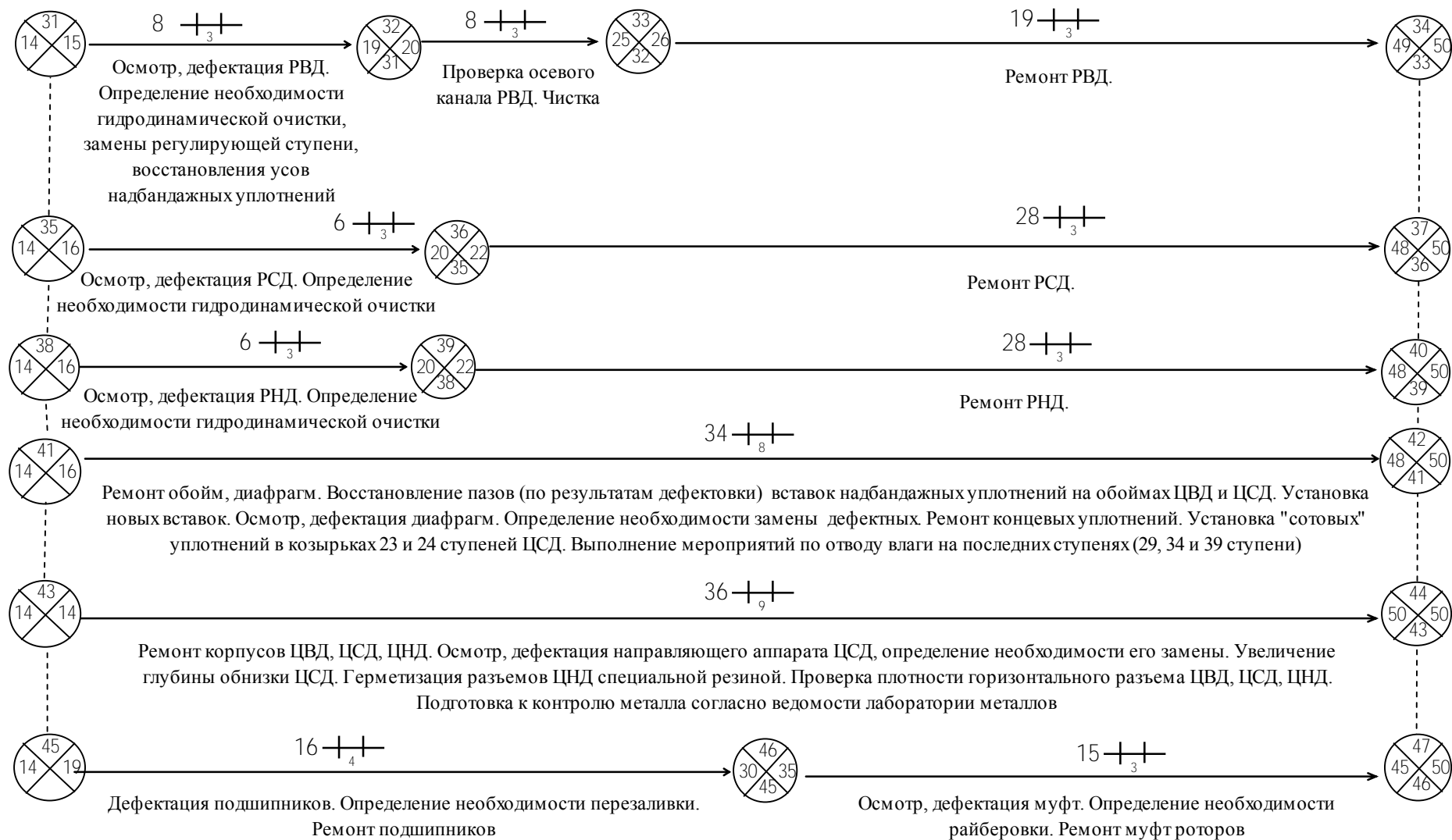


Рис. 2.3. Ремонт цилиндров турбины К-300-240 со сверхтиповыми работами

В процессе *сборки* восстановленных узлов цилиндра проверяются и исправляются центровка обойм и диафрагм, величина тепловых зазоров, радиальных зазоров в проточной части, линия валов турбины и генератора.

После закрытия цилиндра и обтяжки горизонтального разъема осуществляется контрольная проверка центровки роторов, полумуфт; сболчиваются полумуфты и устанавливаются датчики.

В табл. 2.1 с использованием данных [7] приведен перечень типовых работ, производимых при ремонте цилиндра паровой турбины К-300-240.

Таблица 2.1

Технологический процесс капитального ремонта турбоагрегата К-300-240
(ревизия цилиндра высокого давления)

№ п/п	Технологическая операция	Состав бригады, чел.	Трудоемкость, смены
1	2	3	4
1	Снятие крышки подшипника № 1	2	0,5
2	Разболчивание крепежа фланцев паропроводов свежего пара и обогрева фланцев и шпилек ЦВД	4	2,5
3	Вскрытие подшипника № 1	2	0,5
4	Разболчивание крепежа разъема, снятие верхней половины корпуса ЦВД	4	3
5	Разболчивание крепежа разъема и снятие внутреннего корпуса и обойм ЦВД	4	2
6	Проверка биения («маятника») переднего конца РВД. Разболчивание муфты РВД-РСД	2	1,5
7	Проверка зазоров проточной части и радиальных зазоров в уплотнениях. Проверка биения РВД	3	1,5
8	Выемка нижних половин обойм и внутреннего корпуса	3	1
9	Выемка верхних и нижних половин диафрагм из обойм и внутреннего корпуса ЦВД	2	1
10	Ревизия диафрагм ЦВД	4	6
11	Проверка тепловых зазоров по ободу верхних и нижних половин диафрагм	2	1
12	Ревизия уплотнительных колец концевых и диафрагменных уплотнений	4	5
13	Ревизия обойм диафрагм, обойм уплотнений и корпусов каминных камер	4	3,5
14	Проверка тепловых зазоров по посадочному ободу нижних половин обойм диафрагм и обойм уплотнений	2	0,5
15	Ревизия верхней и нижней половин наружного корпуса ЦВД	5	2,5

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
16	Ревизия внутреннего корпуса ЦВД	4	4
17	Ревизия крепежа наружного и внутреннего корпусов ЦВД	4	4,5
18	Ревизия ротора высокого давления	4	4,5
19	Ревизия вкладыша подшипника № 1	2	4
20	Ревизия корпуса и крышек подшипника № 1	2	2,5
21	Ревизия маслоотбойных колец ротора высокого давления	2	3,5
22	Определение возможности закрытия покоробленного корпуса ЦВД без шабрения. Определение поправок на центровку проточной части	4	6
23	Замена уплотнительных гребней концевых и среднего уплотнений ЦВД, завальцованных на роторе	3	6
24	Гидроиспытания коробов обогрева фланцев корпуса ЦВД	2	3
25	Проверка центровки обойм диафрагм, обойм уплотнений и диафрагм ЦВД.	4	1,5
26	Исправление центровки обойм диафрагм, обойм уплотнений и диафрагм ЦВД. Исправление тепловых зазоров	6	2,5
27	Исправление тепловых зазоров по подвескам верхних половин диафрагм ЦВД	3	1
28	Проверка радиальных зазоров в уплотнениях ЦВД по ротору	4	1
29	Проверка радиальных зазоров в уплотнениях ЦВД по борштанге	5	3,5
30	Замена колец диафрагменных уплотнений ЦВД	2	3,5
31	Восстановление радиальных зазоров в диафрагменных уплотнениях ЦВД	4	3,5
32	Контрольная проверка зазоров в проточной части ЦВД	4	5
33	Подготовка к закрытию ЦВД	4	2
34	Закрытие ЦВД	5	2,5
35	Сболчивание крепежа разъема ЦВД. Установка корпусов каминных камер. Ревизия зажимов лап корпуса ЦВД и подшипников	6	3
36	Сболчивание крепежа фланцев паропроводов свежего пара, трубопроводов обогрева фланцев и шпилек корпуса ЦВД	3	3
37	Сболчивание муфты РВД-РСД. Проверка «маятника» РВД	3	1

Параллельно работам по цилиндру проводятся ремонтные *работы по другим узлам* паровой турбины:

- замена и ремонт изношенных деталей системы регулирования, масляных насосов, зубчатых передач, сегментов и колец паровых и водяных уплотнений, маслозащитных колец и валоповоротного устройства (ВПУ);
- очистка и промывка масляного бака, маслоохладителей;
- ремонт стопорного и регулирующих клапанов, проверка и смена их штоков и уплотнительных втулок;
- чистка трубок конденсатора и проверка плотности конденсатора с паровой и водяной сторон, устранение неплотностей, смена дефектных трубок в количестве до 3% от общего числа, подвальцовка части трубок;
- внутренний осмотр и ремонт теплообменников системы регенерации (ПНД и ПВД) и сетевых подогревателей;
- ремонт насосов: конденсатных, сливных, дренажных и других;
- ремонт главного паропровода и перепускных труб, арматуры;
- зачистка и контроль металла корпусных элементов и трубопроводов.

Отметим, что к разборке масляной системы и всех устройств и узлов, связанных с ней, можно приступить только после отключения ВПУ, поскольку валопровод турбоагрегата в связи с необходимостью равномерного охлаждения роторов некоторое время проворачивается на валоповоротном устройстве после остановки турбоагрегата. После остановки ВПУ и масляного насоса можно приступить к работам по спуску масла из масляного бака и маслоохладителей, к разборке и ремонту маслосистемы, системы регулирования, подшипников турбины и пр.

Для наглядности в табл. 2.2 приведен примерный объем типовых работ по ремонту турбоагрегата типа Т-100-130 УТМЗ (Уральского турбомоторного завода).

Турбина [6] – теплофикационная. Регулирующие клапаны, установленные на корпусе ЦВД, реализуют сопловое парораспределение, а регулирующая ступень выполнена двухвенечной. После XII ступени ЦСД производится верхний, а после последней ступени – нижний теплофикационный отбор. ЦНД - двухпоточной конструкции, на входе каждого потока установлена поворотная регулирующая диафрагма.

Ресиверные трубы между ЦСД и ЦНД установлены над турбиной. Роторы ЦВД и ЦСД соединены жесткой муфтой, между роторами ЦСД и ЦНД, ЦНД и генератора установлены полужесткие муфты. Каждый из роторов уложен в двух опорных подшипниках; комбинированный опорно-упорный подшипник расположен в корпусе среднего подшипника между ЦВД и ЦСД.

Кроме типового объема работ дополнительно в объем ремонта могут входить **сверхтиповые работы**, а также запланированные работы по **реконструкции и модернизации** оборудования. Такими работами могут быть, например:

- замена эрозийно-изношенных и механически поврежденных рабочих лопаток турбинных ступеней, а также восстановление лопаточного аппарата непосредственно на роторе или на ремонтном предприятии;
- замена роторов (в основном цельнокованого РВД), дисков и других насадных деталей роторов, каминных уплотнений, стопорных и регулирующих клапанов и пр.;
- заварка корпуса цилиндра, исправление коробления корпуса;

- перезаливка и расточка подшипников;
- работы по устранению повышенной вибрации;
- нормализация тепловых расширений турбоагрегата;
- модернизация уплотнений (замена надбандажных уплотнений радиального типа на осерадиальные, внедрение сотовых уплотнений);
- замена продольных шпонок на торцевые;

Таблица 2.2

Объем работ капитального ремонта турбоагрегата типа Т-100-130*

№	Наименование работ по узлам турбоагрегата
1	2
	Цилиндры
1	Вскрытие корпусов ЦВД, ЦСД, ЦНД
2	Разборка проточной части ЦВД, ЦСД и двухпоточного ЦНД
3	Ремонт крепежа ЦВД, ЦСД, ЦНД и фланцев пароперепускных труб
4	Ремонт каминных и концевых уплотнений ЦВД, ЦСД, ЦНД
5	Ремонт обойм уплотнений ЦВД, ЦСД
6	Ремонт обойм диафрагм ЦНД, ЦСД
7	Очистка и ремонт диафрагм ЦВД, ЦСД, ЦНД, поворотных диафрагм
8	Ремонт корпуса ЦВД, ЦСД, ЦНД
9	Центровка проточной части ЦВД, ЦСД, ЦНД
10	Восстановление радиальных зазоров в концевых и диафрагменных уплотнениях ЦВД, ЦСД, ЦНД
11	Исправление реакции опор корпуса цилиндров ЦВД, ЦСД
12	Ремонт обшивки ЦВД, ЦСД, ЦНД
13	Ремонт ресиверных труб
14	Ремонт поперечных шпонок ЦВД, ЦСД
15	Контрольная сборка ЦВД, ЦСД, ЦНД
16	Сборка и закрытие ЦВД, ЦСД, ЦНД
17	Снятие и установка обшивы ЦВД, ЦСД, ЦНД
	Роторы
18	Очистка и ремонт РВД, РСД и РНД
19	Восстановление уплотнительных гребней на бандаже ступеней ротора
20	Контроль и центровка валопровода турбоагрегата
21	Устранение коленчатости соединения пар роторов турбоагрегата с количеством болтов 12, 18 и 24 шт

* в таблице не приводятся ремонтные работы по электрогенератору

1	2
	Парораспределение
	Подшипники
22	Ремонт скользящих опор: передней, РВД-РСД, РСД-РНД; а также опоры РНД-РГ (ротор генератора) с ремонтом ВПУ
23	Ремонт клапана автоматического затвора
24	Ремонт регулирующих клапанов высокого давления
25	Ремонт распредустройства регулирующих клапанов
26	Ремонт рычажных связей парораспределения
	Система регулирования
27	Разборка, очистка, дефектация автоматической системы регулирования (АСР)
28	Снятие характеристик АСР. Настройка
29	Снятие динамических характеристик АСР и защиты
	Маслосистема
30	Ремонт маслобака турбины
31	Ремонт маслоохладителей
32	Очистка трубок маслоохладителей
33	Очистка внутренней поверхности маслобака, коробов, демпферного бака
34	Ремонт гидравлической части регулирования
	Ремонт вакуумной системы
35	Ремонт эжекторов
36	Чистка трубок конденсатора, устранение дефектов
	Подогреватели
37	Ремонт сетевых подогревателей ПСГ1 и ПСГ2
38	Ремонт ПВД – три штуки, ПНД – 4 штуки, сальникового подогревателя
	Трубопроводы
39	Контроль металла, наладка опорно-подвесной системы
40	Ремонт арматуры
	Прочие работы
41	Выборка и наплавка металла
42	Установка крючьев для теплоизоляции
43	Снятие и установка лестниц, площадок
44	Контрольное измерение вибрации опор турбоагрегата
45	Балансировка валопровода турбоагрегата на месте

- уплотнение или модернизация поворотной диафрагмы, реконструкция клапанов парораспределения;
- организация дополнительного отбора или увеличение существующего, модернизация камер отбора;
- модернизация системы обогрева фланцев и шпилек;
- перевод турбины на противодавление (с установкой ротора-проставки);
- монтаж системы контроля эрозионного износа лопаток последних ступеней и многое другое. Для примера на рис. 2.2 приведен фрагмент сетевого графика капитального ремонта ЦВД турбины типа Т-100-130 со сверхтиповыми работами (заваркой корпуса цилиндра и заменой турбинных ступеней), а на рис. 2.3 - фрагмент сетевого графика капитального ремонта цилиндров турбины К-300-240.

При сборке турбоагрегата после ремонта должны быть обязательно замерены зазоры, положения валов, цилиндров и пр. Эти замеры являются документальными данными о состоянии машины после ремонта.

Такие же проверки, как на самой турбине, должны проводиться и по всем вспомогательным механизмам и устройствам. По мере окончания ремонта и сборки отдельных механизмов и аппаратов турбоустановки, например, насосов, конденсаторов, маслоохладителей и других, производится их опробование на ходу, под давлением и т. д.

После окончания работ по ремонту турбоагрегата в целом производится подготовка к его опробованию на ходу, для этого необходимо полностью восстановить термоизоляцию.

Пробный пуск турбоагрегата должен производиться в присутствии приемочной комиссии, при этом на неподвижной турбине:

- проверяются зазоры, установленные по указателям тепловых расширений цилиндров и корпусов подшипников;
- прокачивается масло через масляную систему с очисткой его на временно поставленных фильтрах с мелким сечением ячеек, которые меняются несколько раз и вынимаются после тщательной очистки масла;
- наблюдается достаточность слива масла из всех подшипников по смотровым окнам на сливных маслопроводах;
- проверяется исправное действие (отсутствие заеданий и т. д.) клапанов автоматического затвора, сервомоторов защитных клапанов, регулирующих клапанов ЦВД и ЦСД и поворотных диафрагм (у турбин с регулируемым отбором пара) путем их полного открытия и закрытия.

После включения валоповоротного устройства турбина тщательно прослушивается на отсутствие задеваний между вращающимися и неподвижными ее частями.

Далее производится пробный пуск турбоагрегата с проверкой работы отдельных механизмов и аппаратов.

При работе на холостом ходу проверяются нагрев и вибрации подшипников, тепловые расширения цилиндров и корпусов подшипников, правильность действия всех предохранительных и регулирующих устройств; снимаются необходимые показания приборов и характеристики (статическая характеристика ре-

гулирования и др.); проверяется водяная, воздушная и паровая плотность аппаратов и арматуры; берутся пробы масла и конденсата на химический анализ.

Заключительной является проверка работы всего агрегата в целом под нагрузкой.

2.2. Построение сетевого графика в условиях выполнения курсовой работы

В условиях выполнения курсовой работы построение сетевого графика капитального ремонта турбоагрегата можно осуществить в следующем порядке.

Вначале необходимо ознакомиться с тепловой схемой и конструктивными особенностями рассматриваемой паротурбинной установки, то есть определить:

- тип турбины (конденсационная или теплофикационная: противодавленческая, с производственными или отопительными отборами; в последнем случае – выявляется наличие ступенчатого подогрева сетевой воды);

- мощность, начальные и конечные параметры, наличие промперегрева;

- количество цилиндров;

- особенности системы парораспределения (в общем случае – ЧВД, ЧСД и ЧНД; для теплофикационных турбин – тип применяемых органов (клапаны или диафрагма) поддержания давления в регулируемых отборах (производственных и отопительных); выяснить, установлены ли регулирующие клапаны непосредственно на корпусе или выполнены в виде отдельных блоков рядом с турбиной);

- тип роторов (цельнокованные, с насадными дисками, комбинированные, сварные) и материал изготовления;

- особенности корпусов цилиндров (наличие внутреннего корпуса ЦВД, наличие вертикальных разъемов, материал изготовления);

- особенности проточной части турбины (количество ступеней по цилиндрам, в том числе нерегулируемых; тип регулирующей ступени ЧВД: одно- или двухвенечная; наличие регулирующей ступени в ЧСД; способ крепления диафрагм: в корпусе или в обоймах);

- способы крепления лопаток на дисках по ступеням (Т-отобразный, вильчатый хвостовик и др.), тип бандажа (ленточный, проволочный);

- конструкция уплотнений: надбандажных, диафрагменных, концевых; способ выполнения концевых уплотнений: непосредственно на роторе или на насаженных втулках;

- крепление дисков на роторе (тип шпонок: продольные или торцевые);

- типы муфт, соединяющие ротора в валопровод (откованные заодно с валом или насадные; жесткие, полужесткие или упругие);

- количество и тип подшипников (опорные, комбинированные опорно-упорные);

- расположение ресиверных труб (на уровне пола машинного зала или над турбиной)

- характеристики системы регенерации турбины (количество нерегулируемых отборов пара на ПВД и ПНД из цилиндров) и пр.

Необходимо также ознакомиться с конструктивными особенностями, материалом изготовления и другими характеристиками вспомогательного оборудования:

- конденсатора;
- теплообменников системы регенерации ПВД и ПНД (последние могут быть как поверхностными, так и смешивающими) и сетевых подогревателей (вертикальные или горизонтальные);
- насосов и пр.

Описание конструкций паровых турбин, производимых в ближнем зарубежье, их тепловые схемы и чертежи можно найти, например, в [6].

Затем в соответствии с количеством цилиндров турбины выделяются основные ремонтные узлы (см. подраздел 1.2, а также рис. ПЗ).

Далее по всем выделенным узлам составляются узловые сетевые графики в типовом объеме: перечень и последовательность работ можно брать в соответствии с рекомендациями раздела 2, а также табл. П1 (в табл. П1 по ЦНД, а также по всем остальным узлам приведены типовые работы; по ЦВД производятся сверхтиповые работы по замене ротора высокого давления). Перечень типовых работ, естественно, определяется конструктивными особенностями рассматриваемого турбоагрегата (см. раздел 2).

На рис. ПЗ приведен укрупненный сетевой график, и наименование работ дано сокращенно. Разработку сетевого графика следует делать более детально, включая в него возможно большее количество событий и подробно описывая производимые работы так, чтобы график отражал основные конструктивные особенности турбоустановки.

В табл. П1 работы, сокращенно обозначенные на рис. ПЗ, расшифрованы более подробно с указанием необходимых для их выполнения трудозатрат (отметим, что в условиях рис. ПЗ остывание турбоагрегата происходит в выходные дни, поэтому условно соответствующее ожидание на сетевом графике не обозначено).

Трудозатраты можно обозначать на сетевом графике либо с указанием сменности производимых работ (то есть как на рис. 2.1 – 2.3), либо упрощенно – с указанием только количества необходимых рабочих дней (как на рис. ПЗ).

Работы по цилиндрам обычно производятся параллельно. **При этом** после разборки цилиндров узловые сетевые графики разветвляются (см. рис. ПЗ), и работы по ротору, корпусу, подшипникам, обоймам, диафрагмам и т.д. производятся параллельно.

На рис. ПЗ выделены три параллельных пути по каждому цилиндру, но их может быть как меньше, так и больше в зависимости от сложности ремонтных работ, располагаемой численности персонала и требуемых сроков ремонта.

К намеченным работам типовой номенклатуры в соответствии с индивидуальным заданием в необходимых точках сетевого графика добавляются требуемые сверхтиповые работы, а также работы по реконструкции и модернизации (при их наличии). Технология производства этих работ должна быть освещена в пояснительной записке.

Вид сетевого графика определяется в результате его оптимизации.

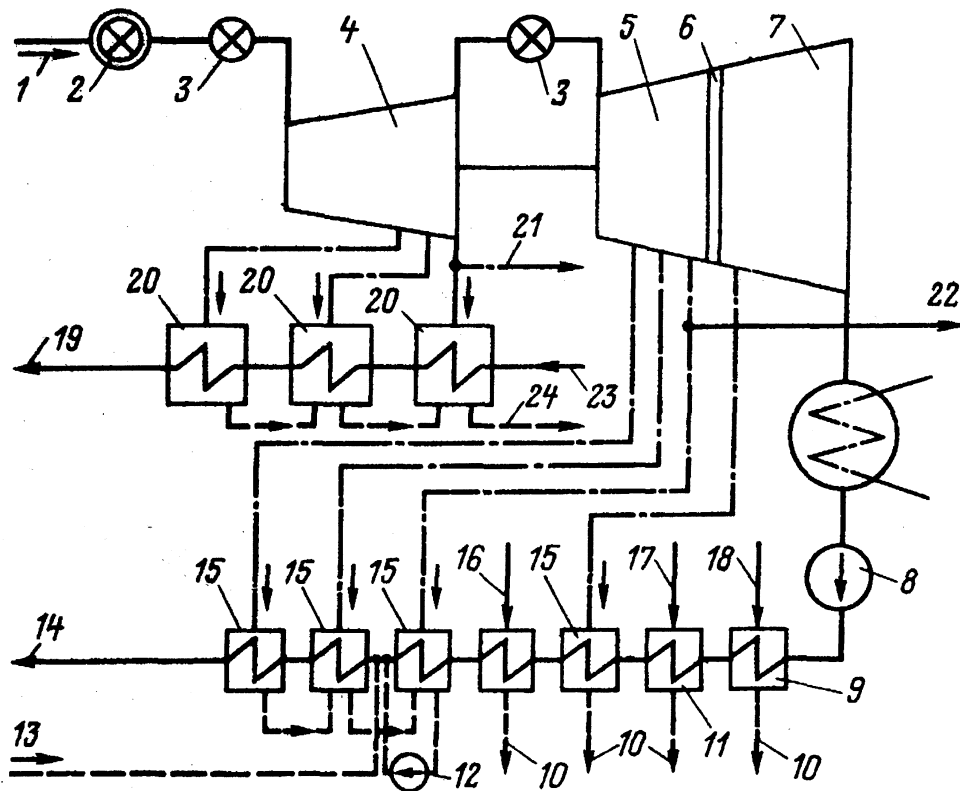
Л и т е р а т у р а

1. Методические указания по разработке и применению системы сетевого планирования и управления при ремонте оборудования электростанций.- УУЗ Минэнерго СССР. 1977.
2. Энгель-Крон К.В. Ремонт паровых турбин.- М.: Энергоиздат, 1981.
3. Молочек В.А. Ремонт паровых турбин.- М.: Энергия, 1968.
4. Семиков, Ф. П., Ушаков, И. К. Ремонт паровых турбин. - Киев: Техніка, 1978. - 247 с.
5. Бровкин Б. А., Балашов А. М. Ремонт вспомогательного оборудования турбин. - М.: Энергоиздат, 1982. - (Библиотека тепломонтажника). - 95 с.
6. Трухний, А. Д. Стационарные паровые турбины. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1990. - 640 с.
7. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2001. - 488 с.
8. Трухний, А.Д., Ломакин, Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2002. - 540 с.

**РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО ГРАФИКА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
ТУРБОУСТАНОВКИ ПТ-60-130/13 С ЗАМЕНОЙ
РОТОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Турбина ПТ-60-130/13 ЛМЗ номинальной мощностью 60 МВт, с двумя отборами пара спроектирована на начальные параметры пара 12,75 МПа и 565 °С и частоту вращения 50 1/с.

Принципиальная тепловая схема и конструктивный чертеж турбоустановки приведены на рис. П1.1 и П1.2 соответственно [6].



1 — свежий пар; 2 — стопорный клапан; 3 — регулирующие клапаны (4 шт. перед ЦВД и 4 шт. перед ЧСД ЦНД); 4 — ЦВД; 5 — ЧСД ЦНД; 6 — регулирующая диафрагма; 7 — ЧНД ЦНД; 6 — конденсатный насос; 9 — холодильник эжектора; 10 — конденсат греющего пара в конденсатор; 11 — холодильник эжектора уплотнений; 12 — сливной насос; 13 — конденсат с производства; 14 — конденсат в деаэратор; 15 — ПНД; 16, 17 — пар из уплотнений; 18 — выхлопной пар эжектора; 19 — питательная вода в котел; 20 — ПВД; 21 — производственный отбор и отбор на деаэратор; 22 — теплофикационный отбор; 23 — питательная вода от питательного насоса; 24 — в деаэратор

Рис. П1.1. Принципиальная тепловая схема турбоустановки ПТ-60-130/13

От стопорного клапана пар подводится к четырем регулирующим клапанам, установленным на корпусе ЦВД турбины. Турбина имеет комбинированное парораспределение: при небольших расходах пара через ЦВД пар подводится последовательно через четыре группы сопел к регулирующей ступени, а для перегрузки обводной внутренней клапан (также установленный на корпусе ЦВД) увеличивает расход через последние 13 ступеней цилиндра.

Пар из ЦВД подводится по четырем трубам к регулирующим клапанам, установленным непосредственно на корпусе ЦВД. Парораспределение ЦВД (вернее, части среднего давления (ЧСД) ЦВД) — сопловое. Проточная часть ЧСД состоит из регулирующей ступени, к которой подается пар из четырех сопловых коробок, и восьми нерегулируемых ступеней. Поддержание давления пара в отопительном отборе осуществляется поворотной двухъярусной диафрагмой. Часть низкого давления (ЧНД) включает четыре ступени.

Регенеративная система турбины имеет четыре ПНД, деаэратор и три ПВД.

Валопровод турбоагрегата состоит из роторов ЦВД, ЦНД и генератора. Каждый из роторов турбины опирается на свои подшипники, причем передний подшипник каждого из них является комбинированным опорно-упорным, а задний — опорным. Таким образом, валопровод имеет два упорных подшипника, поэтому роторы турбины соединяются гибкой муфтой. Роторы генератора и турбины соединяются полугибкой муфтой.

Ротор ЦВД — цельнокованный. Корпус ЦВД отлит из хромо-молибденовой стали. Из нижней части ЦВД предусмотрено два отбора на ПВД (третий отбор производится из паропровода за ЦВД).

Ротор ЦНД — комбинированный: диски ЧСД откованы заодно с валом, а диски ЧНД — насадные. Для разгрузки подшипников от осевого усилия в передней части выполнен разгрузочный диск.

Корпус ЦНД кроме горизонтального имеет вертикальный разъем: передняя часть — литая, задняя — сварная. Диафрагмы всех ступеней ЦВД и ЦНД установлены в обоймах, пространство между которыми использовано для размещения патрубков отбора.

На рис. П1.3 представлен укрупненный сетевой график капитального ремонта турбоустановки ПТ-60-130/13 с проведением в ЦВД сверхтиповых работ по замене ротора высокого давления (РВД). В таблице П1.1 дано более подробное описание технологического процесса капитального ремонта турбоустановки.

Таблица П1.1

Технологический процесс капитального ремонта турбоустановки ПТ-60-130/13
с заменой ротора высокого давления

Шифр работ [*]	Наименование работ	Трудо-емкость, смены	Состав бригады, чел.
1	2	3	4
РЕГУЛИРОВАНИЕ			
1-2	Ремонт системы регулирования	22	2
	Разборка, дефектация узлов системы регулирования	7	2
	Ремонт узлов системы регулирования. Ревизия главного масляного насоса	9	2
	Сборка, установка блоков регулирования, закрытие крышки блока регулирования	6	2
ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ			
3-4	Ремонт стопорного клапана	16	2 ... 3
	Снятие изоляции стопорного клапана, разборка, дефектация	4	2
	Ремонт, зачистка корпуса стопорного клапана, контроль металла, устранение дефектов	9	2
	Сборка, нанесение изоляции	3	3
5-6	Ремонт регулирующих клапанов	18	2 ... 3
	Разболчивание и снятие регулирующих клапанов	4	2
	Дефектация, ремонт клапанов и кулачкового вала	10	2
	Сборка, установка регулирующих клапанов	4	3
МАСЛОСИСТЕМА			
7-8	Ремонт маслосистемы	32	4 ... 5
	Слив масла.	2	4 ^{**}
	Чистка маслобака. Чистка и ремонт маслоохладителей. Чистка маслопроводов не подвергшихся промывке. Ремонт маслонасосов и арматуры	30	5
8-9	Заполнение маслосистемы маслом	4	4
0-50	Подготовительные работы	2	8

* приведено в соответствии с укрупненным сетевым графиком на рис. П3

** количество работающих приводится с учетом производства работ в две смены

1	2	3	4
	ЦВД		
0-11	Снятие обшивы, КИП	1,5	8 ^{**}
11-12	Снятие изоляции	1,5	8 ^{**}
12-13	Разборка цилиндра	6	8 ^{**}
	Вскрытие подшипников. Проверка коленчатости, центровки роторов	2	8 ^{**}
	Разболчивание горизонтального разъема, снятие верхней половины корпуса, верхних половин обойм и диафрагм.	2	8 ^{**}
	Проверка «боя» РВД. Проверка зазоров проточной части	1	8 ^{**}
	Выемка РВД и нижних половин диафрагм	1	8 ^{**}
0-10	Входной контроль нового РВД	7	3
	Образмеривание. Сопоставление размеров. Балансировка на станке	7	3
13-14	Установка нового РВД	2	8 ^{**}
	Установка нового РВД. Проверка «боя» РВД. Проверка зазоров в проточной части. Проверка центровки роторов	2	8 ^{**}
14-15	Контрольные работы	16	6 ^{**}
	Проверка реакции опор	2	6 ^{**}
	Демонтаж маслопроводов. Вывод переднего стула. Установка спец. опор под передние лапы ЦВД	4	6 ^{**}
	Проверка прилегания опорных поверхностей переднего стула и фундаментной рамы. Ревизия шпоночных соединений. Замена смазки. Установка стула на место	5	6 ^{**}
	Проверка плотности горизонтального разъема ЦВД. Определение поправок на центровку проточной части. Проверка соосности соплового аппарата	5	6 ^{**}
16-17	Ремонт корпуса, подшипников	16	3
	Ревизия корпуса ЦВД. Зачистка радиусных переходов, зон выборок. Контроль металла.	8	3
	Ревизия подшипников, масляных уплотнений	8	3
18-19	Ремонт диафрагм, уплотнений	15	3
15-20	Исправление зазоров и центровки	7	6 ^{**}
	Проверка и исправление центровки диафрагм	2	6 ^{**}
	Проверка и исправление тепловых зазоров	2	6 ^{**}
	Проверка и исправление радиальных зазоров в концевых и диафрагменных уплотнениях	3	6 ^{**}
20-21	Закрытие цилиндра и подшипников	8	8 ^{**}
	Контрольная проверка зазоров проточной части	1	8 ^{**}
	Подготовка и закрытие ЦВД. Обтяжка горизонтального разъема. Проверка и исправление реакций опор	2	8 ^{**}
	Контрольная проверка и исправление центровки роторов	1,5	8 ^{**}
	Райберовка отверстий полумуфт РВД - РНД	2,5	8 ^{**}
	Закрытие картеров подшипников	1	8 ^{**}
22-21	Монтаж температурного контроля. Установка и настройка датчиков	6	2

1	2	3	4
	ЦНД		
0-23	Снятие обшивы, КИП	1,5	8**
23-24	Снятие изоляции	1,5	8**
24-25	Разборка цилиндра	6	8**
	Вскрытие подшипников, снятие ВПУ. Разболчивание муфт, проверка центровки роторов	2	8**
	Вскрытие горизонтального разъема цилиндра, снятие верхних половин обойм и диафрагм	2	8**
	Снятие паспорта проточной части. Проверка «боя» РНД. Проверка разбега. Проверка зазоров проточной части	1	8**
	Выемка РНД и нижних половин обойм и диафрагм	1	8**
25-26	Ремонт РНД	17	4
	Чистка РНД высоконапорной машиной «Вома»	4	4
	Снятие полумуфт, дисков ступеней № 27 ... 30. Контроль ротора и дисков № 27 ... 30. Исправление дефектов. Насадка дисков, втулок, полумуфт на вал	10	4
	Балансировка РНД на балансировочном станке	3	4
27-28	Ремонт корпуса, подшипников и ВПУ	15	3
	Ревизия корпуса ЦНД, исправление дефектов. Ремонт крепежа, подшипников, при необходимости отправка на перезаливку. Ремонт валоповоротного устройства	15	3
29-30	Ремонт обойм, диафрагм, уплотнений	15	3
	Ремонт обойм, диафрагм. Ремонт поворотных диафрагм. Ремонт диафрагменных и концевых уплотнений	15	3
26-31	Исправление зазоров и центровки	7	6**
	Исправление боя торца полумуфт. Исправление центровки роторов	1	6**
	Проверка и исправление центровки обойм и диафрагм	2	6**
	Проверка и исправление тепловых зазоров обойм и диафрагм	2	6**
	Проверка и исправление радиальных зазоров в концевых и диафрагменных уплотнениях	2	6**
31-32	Закрытие цилиндра	6	6**
	Контрольная проверка зазоров проточной части	1,5	6**
	Подготовка и закрытия ЦВД. Обтяжка горизонтального разъема. Проверка и исправление реакций опор	2	6**
	Контрольная проверка центровки роторов. Сболчивание полумуфт	1	6**
	Установка и настройка датчиков	1,5	4
32-33	Закрытие подшипников, установка ВПУ	2	6**
	Закрытие картеров подшипников. Установка ВПУ	2	6**

1	2	3	4
34-35	Заключительные работы	8	10
21-36	Опрессовка маслосистемы	2	8**
	Прокачка масла. Опрессовка маслосистемы	2	8**
36-37	Пуско-наладочные работы	8	8 ... 12
	Настройка регулирования на стоящей машине	2	8**
	Испытание технологических защит	1	9***
	Нанесение изоляции, прогрев турбины	2	9***
	Пуск, выход на ХХ, регулировка на ХХ. Балансировка валопровода в собственных подшипниках	2	12***
	Электрические испытания, включение в сеть	1	12***
ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА			
38-39	Ремонт эжекторов	8	2
	Разборка, дефектация, ремонт, сборка эжекторов	8	2
39-40	Ремонт конденсатора	15	2...3
	Снятие крышек конденсатора, чистка водяных камер.	5	2
	Чистка трубок конденсатора	10	3
40-41	Опрессовка вакуумной системы	7	4
	Опрессовка вакуумной системы, устранение дефектов. Закрытие конденсатора, опрессовка по циркуводе	7	4
ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ			
42-43	Ремонт теплообменников:	34	6
	Снятие изоляции	3	6
	Разборка, дефектация, ремонт, внутренний осмотр, сборка ПНД	10	6
	Разборка, дефектация, ремонт, внутренний осмотр, контроль металла змеевиков, сборка ПВД	12	6
	Разборка, ремонт, сборка сетевых подогревателей	9	6
44-45	Ремонт насосов:	26	2
	Разборка, дефектация, ремонт, сборка насосов: конденсатных, сливных, циркуляционных, дренажных	26	2
АРМАТУРА			
46-47	Ремонт арматуры:	32	6
	Разборка, дефектация, ремонт, сборка арматуры согласно ведомости объема работ (главный паропровод, на регенерацию, питательный, основного конденсата, циркуляционной системы, отсоса воздуха)	32	6
ТРУБОПРОВОДЫ			
48-49	Ремонт трубопроводов:	34	4
	Снятие изоляции. Подготовка рабочих мест	4	4
	Зачистка металла гибов и сварных соединений. Устранение выявленных дефектов.	15	4
	Наладка опорно-подвесной системы. Нанесение изоляции	15	4

*** количество работающих дано с учетом производства работ в три смены

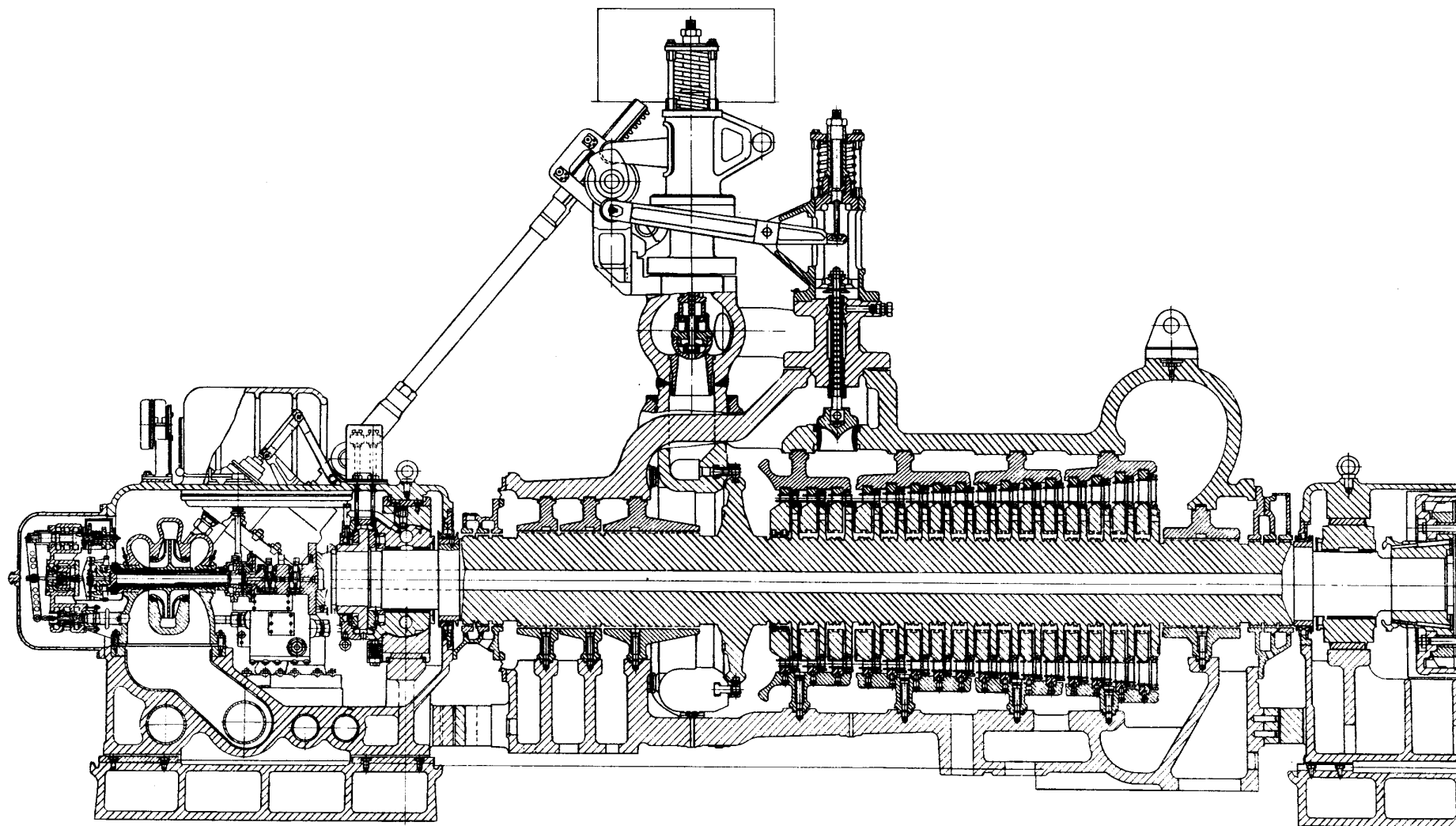
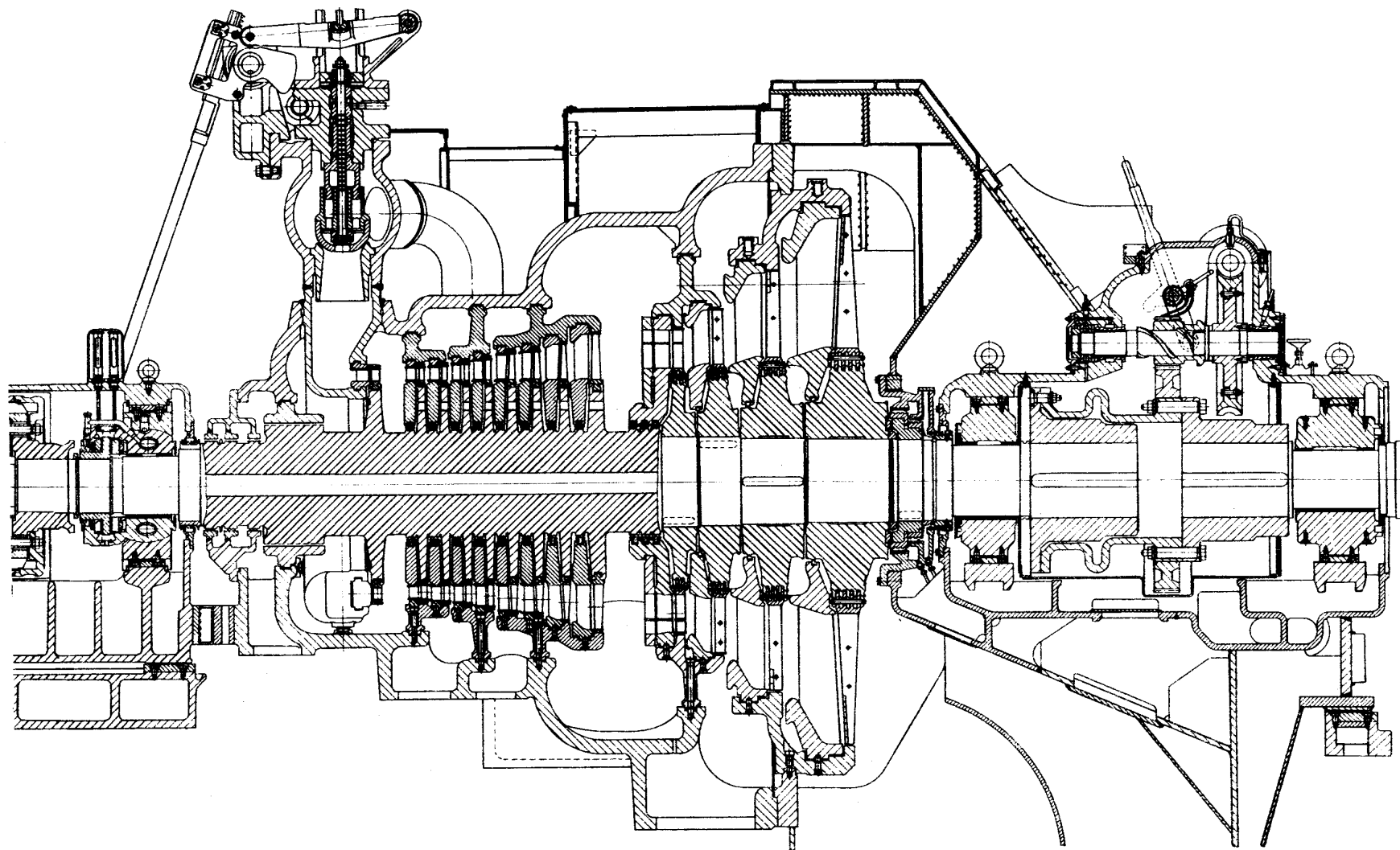


Рис. П1.2. Конструктивный чертеж турбины ПТ-60-130/13 ЛМЗ



Продолжение рис. П1.2.

Месяц	март																																	
	Календарные дни																																	
	Дни ремонта																																	
	Рабочие дни																																	
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	-	-	1	2	3	4	5	-	-	6	7	8	9	10	-	-	11	12	13	14	15	-	-	16	17	18	19	20	-	-	21	22		
	-	-	19	40	40	40	40	-	-	42	42	42	42	-	-	42	42	42	42	-	-	42	42	42	42	-	-	42	42	-	-	42	42	

Месяц	апрель																														май																				
	Календарные дни																																																		
	Дни ремонта																																																		
	Рабочие дни																																																		
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21													
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70													
	23	24	25	-	26	27	28	29	30	-	-	31	32	33	34	35	-	-	36	37	38	39	40	-	-	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52														
	42	42	42	-	42	42	42	42	42	-	-	42	42	42	42	42	-	-	42	40	40	40	40	-	-	24	24	18	18	22	12	12	22	22	22	22	22	22													

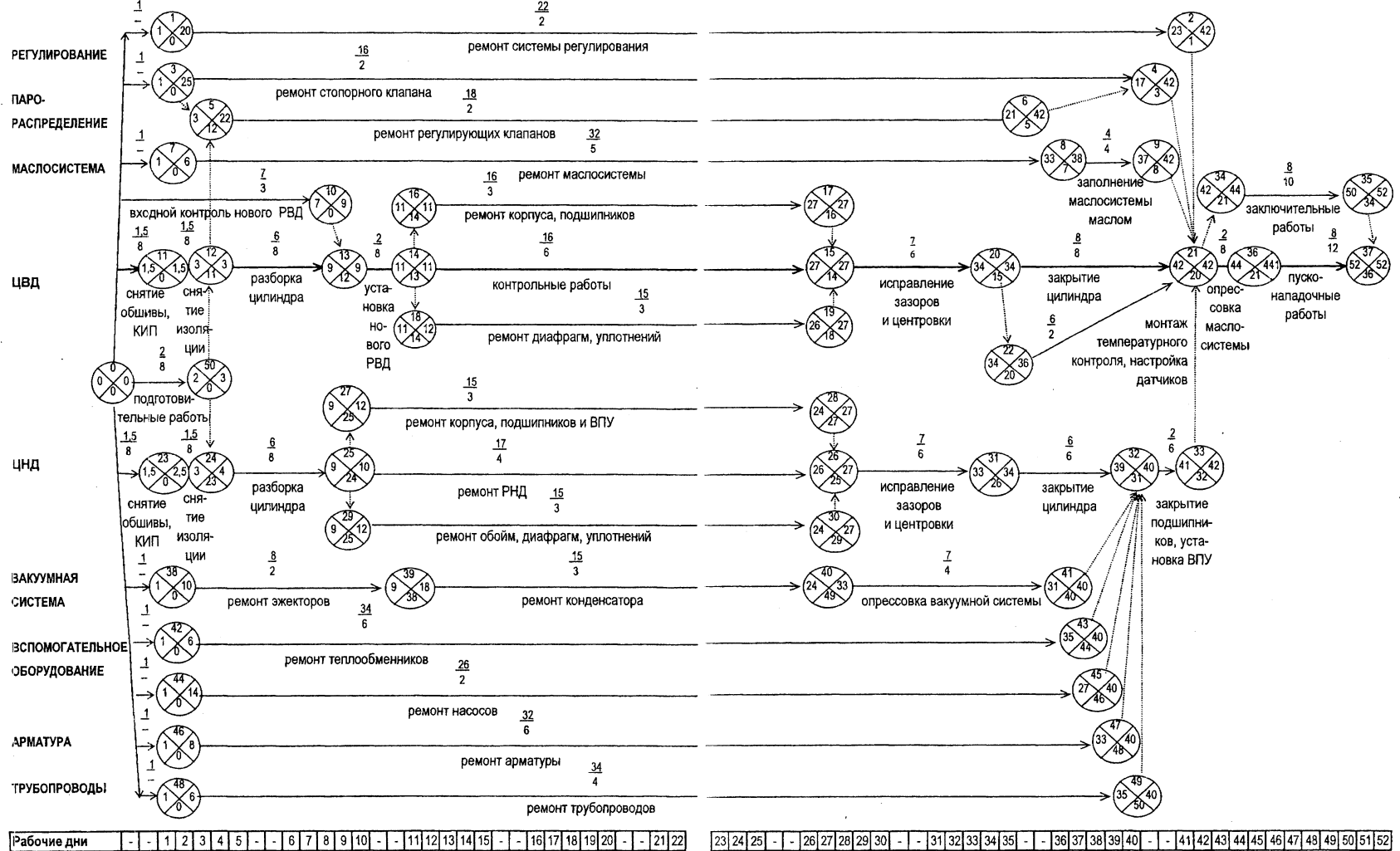


Рис. П1.3. Сетевой график капитального ремонта турбоустановки ПТ-60-130/13

ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УЗЛОВ ПАРОТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основные дефекты и ремонт цилиндров паровых турбин

После разборки цилиндра производят его очистку, осмотр и дефектацию. Очищают и осматривают горизонтальный разъем корпуса, расточки под обоймы и диафрагмы, опорные поверхности мест подвески диафрагм и обойм, рабочие поверхности опорных лап и центрирующих шпонок, уплотнительные поверхности фланцев паропроводов свежего пара; удаляют задиры, забоины и заусенцы. Проверяют крепление вставок надбандажных уплотнений. Вставки, имеющие свободу передвижения, крепят подчеканкой. Очищают и осматривают резьбовые поверхности шпилек и гаек, дефектный крепеж заменяют новым (если он не подлежит ремонту).

Проверяют, нет ли коробления корпуса турбины, которое проявляется в первую очередь в раскрытии горизонтального разъема при свободном наложении верхней половины корпуса на нижнюю. Если при затяжке разъема ЦВД через одну-две шпильки, а ЦСД – через три-четыре шпильки (затяжка более тонких фланцев ЦНД обычно не представляет трудностей) зазоры исчезают (щуп толщиной 0,05 мм не проходит), то такой разъем считается плотным. При наличии раскрытия определяют возможность его устранения путем затяжки шпилек. Последнее связано со смещением обойм и диафрагм, закрепленных в корпусе вблизи плоскости разъема, что должно учитываться при центровке проточной части турбины введением поправок, найденных в процессе затяжки.

Шабровки горизонтального разъема корпусов турбин высокого и сверхкритического давления для устранения коробления следует избегать, поскольку это приводит к искажению геометрии расточек и создает условия для дальнейшего коробления корпуса. Исключением является наличие на поверхности разъема местных повреждений (трещин, промоин), которые устраняют наплавкой с последующим шабрением наплавленных участков.

Устранение дефектов металла корпусных литых деталей паровых турбин является чрезвычайно ответственной операцией. Если дефекты на ремонтируемых деталях распространяются на глубину больше 50% толщины стенки в районе выборки, то метод устранения дефектов работники электростанции или ремонтного предприятия должны согласовывать с заводом-изготовителем. Выборка дефекта должна производиться механическим способом (пневматическим зубилом, шлифовальной машинкой и т.п.) с контролем полноты удаления дефекта травлением. Если глубина выборки не превышает 15% толщины стенки в месте залегания дефекта, то электростанция по согласованию с заводом-изготовителем может оставить в эксплуатации эту деталь без выполнения ремонтной заварки. В этом случае выборка должна иметь форму, близкую к эллиптической или сферической с радиусами закруглений, равными глубине выборки или большими ее.

Выполнить термообработку корпуса цилиндра в условиях электростанции обычно не возможно, поэтому для устранения дефектов металла, применяется метод холодной заварки. Заварку производят валиками небольшой ширины с послойной проковкой каждого валика. После окончания заварки производится контроль качества методами магнитно-порошковой дефектоскопии и ультразвукового контроля. В качестве мероприятий, повышающих надежность отремонтированных деталей, рекоменду-

ется предварительный и сопутствующий подогрев электронагревателями до 200...300°C. После заварки обеспечивается медленное охлаждение отремонтированного участка под слоем изоляции.

Ремонт роторов

После очистки ротор тщательно осматривается лупой, особенно в тех местах, которые могут явиться концентраторами напряжений:

- кольцевые выточки, галтели, переходы сечений от одного диаметра к другому, шпоночные канавки, отверстия, резьбовые соединения;
- детали при их горячей посадке с завышенными натягами;
- дефекты, возникающие в процессе эксплуатации и ремонта (насечки, риски, забоины, наклеп, разъедания поверхности и др.), вследствие грубой обработки и повреждения поверхностей (удары), износа от попадания твердых частиц, паразитных токов, эрозии, коррозии, вибрации и пр.

Комплексный контроль и диагностику состояния металла валопровода, включая контроль осевого канала, необходимо производить современными методами на основе высокоточного оборудования.

Оставление трещин во вращающихся деталях ни при каких условиях не может быть допущено. Расчистка трещин должна производиться до полного их удаления, с закруглением краев образующейся канавки. Если обработка трещины приведет к недопустимому ослаблению детали, последняя должна быть забракована, а в отношении ремонта вала вопрос должен решаться после консультации с заводом-изготовителем или другой компетентной организацией.

Повреждения вала в виде царапин, задиров, рисок, коррозионные повреждения и шероховатости рабочих поверхностей устраняются в зависимости от величины дефекта и его направления проточкой с последующей шлифовкой или только шлифовкой.

Овальность (сечение в форме овала) и конусность рабочей шейки для подшипников (диаметр с одной стороны по длине шейки больше, а с другой меньше) являются следствием неравномерности износа шейки вала и устраняются шлифовкой или обточкой.

Прогиб вала во время эксплуатации происходит в основном из-за задевания его за неподвижные части турбины. Для устранения повышенной вибрации в этом случае применяется правка ротора или проточка его шеек.

Восстановление посадочных натягов и ремонт шеек и муфт роторов может производиться за счет восстановления их первоначальной геометрии методом газотермического напыления и наплавки посадочных мест. При ослаблении посадки насадных деталей (дисков) на валу восстановление натяга может потребовать замену диска новым той же конструкции, но изготовленным из более легированной стали (обладающей большей релаксационной стойкостью).

После проведения ремонтных работ перед сборкой производится балансировка ротора на низкочастотных балансировочных станках для уменьшения его статического и динамического небаланса. После сборки турбоагрегата обычно производится балансировка всего валопровода в собственных подшипниках на рабочей частоте вращения.

При сборке цилиндров обязательной является проверка центровки роторов по муфтам, часто также проверяется центровка роторов по расточкам цилиндра под уплотнения. Центровка производится в основном перемещением роторов путем изменения толщины прокладок под опорными колодками вкладышей подшипников и реже – одновременным перемещением роторов и цилиндров.

Восстановление лопаточного аппарата

Внешний осмотр лопаток производится на всех ступенях турбины: до и после их очистки. Осмотру подлежат сама лопатка и бандаж (ленточный и проволоочный), а также места его крепления.

При осмотре лопаточного аппарата выявляются следы задевания в радиальном и аксиальном направлениях, проверяется правильность и плотность установки лопаток. На последних ступенях турбины выявляют степень и характер эрозионного износа. Для выявления мелких трещин и других дефектов в дополнение к визуальному контролю применяют ультразвук, магнитопорошковую и цветовую дефектоскопию, а также травление.

Разработаны технологии по восстановлению лопаток последних ступеней паровых турбин, имеющие эрозионный износ входной кромки, с продлением срока их эксплуатации. При этом производится снятие слоя металла с накопленной усталостью с рабочей поверхности лопаток и восстановление их первоначальной геометрии. К ремонту допускаются лопатки, прошедшие тщательный входной контроль, в том числе определение накопленной усталости по остаточной намагниченности. Восстановление наплавкой активной части рабочих лопаток турбин может производиться в разлопаченном виде и непосредственно на роторе

При неудовлетворительном состоянии лопаточного аппарата и невозможности его ремонта производят смену лопаток.

Перед установкой нового комплекта лопаток и необходимых деталей выполняются работы по их контролю: проверяются комплектность, геометрические и весовые характеристики. Последнее необходимо для предотвращения возникновения небаланса ротора, для чего лопатки одинаковой массы устанавливаются на противоположных диаметрах. Для длинных лопаток при отсутствии на них заводских клейм и схемы расстановки необходимо определить статические моменты путем развески на моментных весах и составить схему расположения лопаток на диске.

После замены лопаток необходимой является балансировка ротора.

Дефектация и ремонт обойм и диафрагм

Для осмотра обоймы и диафрагмы необходимо вынимать из цилиндров при каждом капитальном ремонте.

Если диафрагмы вставлены в обоймы, то после снятия крышки цилиндра необходимо произвести проверку правильности положения обойм, так как при короблении цилиндра или обойм возможны отклонения гребней от вертикали. Эта проверка может не производиться, если величина полного разбега ротора находится в пределах, допустимых для данного типа турбин, и крышка цилиндра снимается без заеданий.

До выемки ротора из цилиндра необходимо произвести замеры зазоров в проточной части (осевые зазоры между дисками и диафрагмами и радиальные – в уплотнениях).

Поверхности обойм и диафрагм подлежат тщательной очистке от накипи, ржавчины и грязи и осмотру на выявление коробления, коррозии, трещин, следов задевания ротора. Состояние заделки лопаток в полотно и обод диафрагмы определяется по дребезжанию при обстукивании каждой лопатки молотком. Производится также проверка плотности стыков половин диафрагм по краске.

Диафрагмы в работе испытывают нагрузку, направленную в сторону низкого давления, в результате чего возможен повышенный прогиб диафрагм. Поэтому при ремонте производится испытание диафрагм на остаточный прогиб с использованием

щупа и линейки. При небольшой величине остаточного прогиба его можно удалить шабровкой, при большем – диафрагму следует заменить на новую.

Восстановление геометрических размеров тела и обода диафрагм, а также разъема производится методом наплавки с последующей механической обработкой. Для восстановления профиля направляющих лопаток применяется наплавка, а также вварка вставок с последующей механической обработкой. Деформация направляющих аппаратов устраняется термической правкой.

При сборке проточной части следует производить проверку правильности центровки диафрагм в обоймах и обойм в цилиндре для контроля радиальных и осевых тепловых зазоров в посадочных местах между гребнями обойм, диафрагм и пазами цилиндра. Радиальные зазоры проверяются снятием свинцовых оттисков.

Проверка центровки обойм, диафрагм и обойм концевых лабиринтовых уплотнений (они должны быть концентричны оси ротора в его рабочем состоянии) производится при помощи борштанги или оптических приборов со вспомогательной оснасткой. При этом для перемещения диафрагм под их опорные шпонки подкладывают подкладки соответствующей толщины.

Ревизия и ремонт подшипников

После вскрытия подшипники тщательно промывают керосином и очищают вкладыши и корпус от грязи, масляного шлама и нагара.

Затем определяют характер износа баббитовой заливки вкладышей, проверяют плотность прилегания вкладышей к посадочным гнездам корпусов, а также радиальные и боковые зазоры между заливкой и шейкой ротора. На поверхности баббита не должно быть царапин, рисок, трещин, забоин, отслоений, вкраплений посторонних тел.

Заливка должна прочно и плотно соединяться с телом вкладыша. Проверка плотности определяется либо обстукиванием молотком (при плотном прилегании заливки должен быть слышен чистый металлический звук без дребезжания), либо методом керосиновой пробы (после удаления керосина на нанесенной меловой обмазке в месте контакта баббита с вкладышем не должны проступать пятна). При обнаружении отставания баббита от вкладыша необходима его перезаливка.

Увеличение верхних зазоров во вкладышах подшипников из-за истирания баббита приводит к нарушению центровки роторов по полумуфтам и к недопустимому уменьшению радиальных зазоров между ротором и нижней частью цилиндра в лопаточных аппаратах и лабиринтовых уплотнениях, а также к снижению давления и повышению температуры масла в подшипниках и к вибрации турбины. Поэтому при сильном износе баббита также требуется перезаливка подшипника.

При местном повреждении баббитовой заливки (менее 10% площади нижней половины) возможна наплавка или напайка баббитом. Таким же образом можно восстановить величину зазоров (преимущественно наплавкой в верхней половине вкладыша).

После перезаливки подшипник подвергается механической обработке: растачивается и шабруется.

Ремонт конденсатора

При ремонте конденсаторов основными работами являются: чистка трубок и водяных камер, устранение присосов воды и воздуха в паровое пространство, подвальцовка и замена трубок.

Наиболее распространена гидродинамическая очистки трубной системы конденсатора, являющаяся достаточно трудоемкой операций.

Основные повреждения трубной системы конденсатора - это неудовлетворительное качество вальцовочных соединений, язвенная коррозия, различные виды обесцинкования латунных трубок, повреждения вследствие воздействия вибрации.

О повреждении трубной системы в целом можно судить по анализу пробы конденсата, в который в этом случае попадает циркуляционная вода более низкого качества. Для выявления мест присоса циркуляционной воды производятся гидравлические испытания (опрессовка): при вскрытых водяных камерах паровое пространство конденсатора заполняется горячим конденсатом. При наличии повреждений появляются течи из вальцовочных соединений или из самих трубок. Обнаруженные дефектные трубки заглушают, а причины выхода трубок из строя по возможности устраняют. При отглушке 10 ... 15% общего числа трубок производится их частичная или полная замена.

Ремонт подогревателей

Ремонт поверхностных подогревателей в основном заключается в их осмотре, очистке поверхностей нагрева от отложений и в гидравлической опрессовке трубной системы для выявления и устранения течи трубок.

Очистка трубок подогревателей от накипи и отложений с водяной стороны может производиться химическим или механическим способами.

В подогревателях высокого давления (ПВД) особое внимание должно быть уделено качеству приварки трубок к коллекторам. Поврежденные участки труб могут быть вырезаны, а в змеевики взамен вырезанных вварены вставки из трубок того же диаметра.

При трудности такого ремонта или частичной смены поврежденных трубок, в особенности трубок внутренних рядов подогревателей низкого давления (ПНД), обычно дефектная трубка глушится с обоих концов.

Если число заглушенных трубок достигает величины, при которой поверхность нагрева уменьшается на 10% и более, производится капитальный ремонт с заменой всех трубок новыми. Трубки подлежат полной замене также при значительном общем износе.

После замены трубок обязательно должна быть произведена гидравлическая опрессовка с водяной стороны.

Перед сборкой для обеспечения плотности фланцевого соединения корпуса и крышки подогревателя необходимо проверить отсутствие забоин и заусениц на уплотнительной поверхности фланцев, на резьбе шпилек и гаек.

Повреждения и ремонт насосов

Перед разборкой насоса необходимо производить замеры осевого положения ротора, зазоров в направляющих шпонках, центровку валов насоса и электродвигателя.

Основными повреждениями насосов являются: эрозия, коррозия, трещины, поломка лопаток, кавитационные разъедания, прогиб вала. В ходе ремонта производятся очистка, проверка состояния деталей, заварка и наварка дефектных мест с последующей механической обработкой, замена деталей, не подлежащих восстановлению.

При обнаружении шероховатостей дисков и внутренней полости корпусов их следует удалить шлифовкой. Выведение шероховатостей, также как замена сальниковых втулок, не требует больших затрат труда и времени, но повышает надежность и КПД работы насоса.

После проведения заварки, замены лопаток или рабочего колеса необходима проверка биения вала насоса.

С о д е р ж а н и е

	Стр.
Список сокращений	3
Введение	4
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ.	
1.1. Элементы сетевого графика и задачи его оптимизации	6
1.2. Правила разработки сетевых графиков ремонта энергооборудования.	8
1.3. Расчет сетевой модели и сведение баланса трудозатрат.	11
2. РАЗРАБОТКА СЕТЕВОГО ГРАФИКА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ	17
2.1. Технологический процесс капитального ремонта паротурбинной установки.	17
2.2. Построение сетевого графика в условиях выполнения курсовой работы	29
Литература.	31
ПРИЛОЖЕНИЯ.	32
Приложение 1. Разработка сетевого графика капитального ремонта турбоустановки ПТ-60-130/13 с заменой ротора высокого давления.	32
Приложение 2. Основные повреждения и способы восстановления узлов паротурбинного оборудования	41