ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 55003— 2012 (МЭК 62256:2008)

Гидротурбины, гидроаккумуляционные насосы и турбонасосы. Восстановление и повышение эксплуатационных характеристик

IEC 62256:2008
Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines — Rehabilitation and performance improvement
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательского института энергетических сооружений» (ОАО «НИИЭС») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом ТК 330 «Процессы, оборудование и энергетические системы на основе возобновляемых источников энергии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 сентября 2012 г. № 382-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 62256:2008 «Гидротурбины, гидроагрегаты ГАЭС и турбонасосы. Восстановление и повышение рабочих характеристик» (IEC 62256:2008 «Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines — Rehabilitation and performance improvement»), при этом:

- дополнительные слова (фразы, показатели и их значения), учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и особенности российской стандартизации, выделены курсивом;
- наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного стандарта МЭК для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Причины проведения ремонтных работ . . . 2
4.1 Основные положения . . . 2
4.2 Увеличение надежности и коэффициента производительности . . . 4
4.3 Продление срока службы и восстановление производительности . . . 5
4.4 Повышение производительности . . . 5
4.5 Повышение уровня безопасности станции . . . 5
4.6 Нормативные и социальные вопросы и проблемы охраны окружающей среды . . . 5
4.7 Снижение затрат на ремонтные работы и эксплуатацию . . . 6
4.8. Прочие причины выполнения ремонтных работ . . . 6
5 Фазы проекта ремонтных работ . . . 6
5.1 Общие положения . . . 6
5.2 Решение по организации . . . 8
5.2.1 Основные положения . . . 8
5.2.2 Необходимая экспертиза . . . 8
5.2.3 Подготовка контракта . . . 8
5.3 Углубленная оценка . . . 9
5.3.1 Основные положения . . . 9
5.3.2 Анализ реализуемости — Этап 1 . . . 9
5.3.3 Анализ реализуемости — Этап 2 . . . 10
5.3.4 Детальное исследование . . . 10
5.4 Специфико-технические требования на фазе подготовки к тендерам . . . 14
5.4.1 Основные положения . . . 14
5.4.2. Технические требования . . . 14
5.4.3 Тендерная документация и оценка тендеров . . . 14
5.4.4 Заключение контракта . . . 15
5.5 Выполнение проекта . . . 15
5.5.1 Модельные испытания . . . 15
5.5.2 Проектирование, конструкция, монтаж и тестирование . . . 15
5.6 Оценка результатов и соответствие гарантии . . . 15
5.6.1 Общие положения . . . 15
5.6.2 Оценка работы турбины . . . 16
5.6.3 Оценка работы генератора . . . 16
5.6.4 Бонусы и штрафные санкции . . . 16
6 Составление графика работ, анализ стоимостей и рисков . . . 16
6.1 Составление графика . . . 16
6.1.1 Основные положения . . . 16
6.1.2 Составление графика — фазы оценки, анализа реализуемости и детального исследования . . . 17
6.1.3 Оценка компонента графика сравнительных вариантов . . . 17
6.1.4 Спецификация планирования и тендерная фаза . . . 18
6.1.5 Составление графика фаз выполнения проекта . . . 18
6.2 Экономический и финансовый анализ . . . 19
6.2.1 Основные положения . . . 19
6.2.2 Расчет прибыли . . . 19
6.2.3 Определение ожидаемых выгод . . . 20
6.2.4 Определение ожидаемых затрат и выгод . . . 21
6.2.5 Анализ чувствительности . . . 22
6.2.6 Заключительные положения . . . 22
6.3 Анализ рисков . . . 22
6.3.1 Основные положения . . . 22

6.3.2 Риски, связанные с недостижением заданных характеристик при ремонтно-восстановительных работах . . . 23
6.3.3 Риск продолжения работы без проведения ремонтных работ . . . 23
6.3.4 Увеличение риска простоя . . . 23
6.3.5 Финансовые риски . . . 24
6.3.6 Риск объема проекта . . . 24
6.3.7 Другие риски . . . 24
7 Оценка и определение объема работ . . . 25
7.1 Общие положения . . . 25
7.2 Оценка места . . . 25
7.2.1 Гидрология . . . 25
7.2.2 Актуальные данные по выработке энергии . . . 26
7.2.3 Проблемы охраны окружающей среды, социальные и нормативные вопросы . . . 26
7.3 Оценка турбины . . . 27
7.3.1 Общие положения . . . 27
7.3.2 Оценка целостности турбины . . . 48
7.3.3 Остаточный срок службы . . . 55
7.3.4 Оценка работы турбины . . . 55
7.4 Оценка вспомогательного оборудования . . . 69
7.4.1 Основные положения . . . 69
7.4.2 Генератор и упорный подшипник . . . 73
7.4.3 Регулятор турбины . . . 74
7.4.4 Впускные и выпускные затворы турбины, клапан сброса давления . . . 74
7.4.5 Дополнительное оборудование . . . 74
7.4.6 Оборудование для подъема, демонтажа и ремонта . . . 75
7.4.7 Шлюзы и прочие водные каналы . . . 75
7.4.8 Последствия изменений в гидравлической энергии станции (напоре) . . . 76
8 Проектирование гидравлической конструкции и варианты оценки работы . . . 76
8.1 Общие положения . . . 76
8.2 Расчет гидравлической конструкции . . . 77
8.2.1 Основные положения . . . 77
8.2.2 Роль ВГД . . . 77
8.2.3 Процедура анализа ВГД . . . 78
8.2.4 Точность результатов ВГД . . . 78
8.2.5 Как ВГД используется для восстановления . . . 79
8.2.6 ВГД против испытаний с использованием модели . . . 79
8.3 Испытания с использованием модели . . . 80
8.3.1 Основные положения . . . 80
8.3.2 Сравнение испытаний с использованием модели . . . 80
8.3.3 Содержание испытаний с использованием модели . . . 81
8.3.4 Применение модельных испытаний . . . 81
8.3.5 Место проведения исследования модели . . . 83
8.4 Проверка технических характеристик прототипа . . . 83
8.4.1 Основные положения . . . 83
8.4.2 Точность проверки технических характеристик прототипа . . . 84
8.4.3 Виды проверок технических характеристик прототипа . . . 84
8.4.4 Оценка результатов . . . 85
9 Спецификация . . . 86
9.1 Основные положения . . . 86
9.2 Исходные стандарты . . . 86
9.3 Информация, которая должна содержаться в тендерной документации . . . 87
9.4 Документы, которые необходимо составить в ходе проекта . . . 88
Библиография . . . 90

Введение

Настоящий стандарт предназначен для использования при определении, оценке и проведении ремонтных работ или работ, связанных с улучшением качества работы гидравлических турбин, гидроагрегатов или гидронасосов.

Настоящий стандарт распространяется на турбины, гидроагрегаты и насос-турбины всех размеров и следующих типов:

- радиально-осевую турбину;
- турбину Каплана;
- рабочее колесо;
- Пельтон (только турбины);
- капсульную гидротурбину.

Настоящий стандарт может использоваться проектировщиками, изготовителями, организациями, эксплуатирующими гидроустановки, специалистами, осуществляющими надзор, с целью:

- обоснования необходимости ремонта или модернизации;
- обоснования объема работы и финансирования;
- обоснования спецификации;
- оценки результатов.

Настоящий стандарт рекомендуется использовать в качестве:

- справочного документа в процессе принятия решений;
- обширного источника информации о ремонте;
- справочного документа при определении ключевых этапов ремонтного процесса;
- справочного документа при определении пунктов, которые должны быть затронуты при принятии решений.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Гидротурбины, гидроаккумуляционные насосы и турбонасосы. Восстановление и повышение эксплуатационных характеристик

Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.
Rehabilitation and performance improvement

Дата введения — 2014 — 01 — 01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на гидравлические турбины, аккумулирующие насосы и насосы-турбины всех размеров и следующих типов:

- радиально-осевую турбину;
- турбину Каплана;
- рабочее колесо,
- турбину Пельтона;
- капсульную гидротурбину.

Примечание — Сведения о турбинах или их узлах, приведенные в настоящем стандарте, равнозначно распространяются на аккумулирующие насосы и насосы-турбины и их узлы.

Отдельные положения стандарта могут быть использованы для другого оборудования электростанции, которое может влиять на ремонт турбин, аккумулирующих насосов или насосов-турбин, и наоборот.

Настоящий стандарт может использоваться при подготовке, оценке и проведении ремонтных работ или улучшения качества работы гидравлических турбин, аккумулирующих насосов или насосов-турбин.

Настоящий стандарт может использоваться владельцами, консультантами или поставщиками. Настоящий стандарт предназначен для использования с целью:

- обоснования необходимости ремонта или совершенствования оборудования;
- обоснования объема работ и финансирования;
- обоснования спецификации;
- оценки результатов.

Настоящий стандарт предназначен для использования в качестве:

- руководства при принятии решений;
- обширного источника информации о ремонте;
- руководства при определении ключевых этапов ремонтного процесса;
- руководства при определении вопросов, которые должны быть затронуты при принятии решений.

Настоящий стандарт не предназначен для использования в качестве детального технического руководства или руководства по эксплуатации.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 28446—90 (МЭК 609—78) Оценка кавитационной эрозии в гидротурбинах, насосах гидроаккумулирующих станций и насосах-турбинах (МЭК 60609:1978 «Турбины гидравлические, насосы гидроаккумулирующих станций и насосы-турбины. Оценка навигационных разрушений», MOD)

Издание официальное

ГОСТ 28842—90 (МЭК 41—63, МЭК 607—78) Турбины гидравлические. Методы натурных приемочных испытаний (МЭК 60041:1963 «Международный кодекс нолевых приемо-сдаточных испытаний гидротурбин»; МЭК 60607:1978 «Термодинамический метод измерения эффективности гидротурбин, гидроаккумуляционных насосов и турбонасосов»)

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **восстановление** (refurbishment): Возвращение механической целостности, обычно с возвращением рабочих характеристик;

3.2 **замена** (replacement): Замена элементов турбины, аккумулирующего насоса или насоса-турбины.

Примечание — Данное определение может относиться в целом к гидравлической машине, если массогабаритные характеристики позволяют ее замену при ремонте.

3.3 **модернизация** (modernization): Улучшение показателей качества или замена устаревших технологий.

3.4 **наращивание ресурсов** (upgrade or upgrading): Возвращение механической целостности или эффективности.

3.5 **переборка** (overhaul): Возвращение механической целостности в процессе проведения ремонтных работ.

3.6 **перепланирование** (redevelopment): Замена станции или изменения в гидравлике и гидрологии площадки, связанные с изменением режима работы станции.

3.7 **повышение номинального значения** (uprating): Увеличение паспортной мощности за счет повышения эффективности или улучшения технических характеристик.

3.8 **ремонтные работы** (rehabilitation): Реставрация производственной мощности оборудования и/или эффективности оборудования до уровня, свойственного новому оборудованию.

Примечание — Реставрация производственной мощности оборудования и/или эффективности понимается в сочетании с увеличением срока службы оборудования путем восстановления механической и функциональной целостности.

3.9 **улучшение технических характеристик** (performance improvement): Увеличение мощности и/или эффективности по сравнению с первоначальными (может входить в состав ремонтных работ).

4 Причины проведения ремонтных работ

4.1 Основные положения

Гидроэлектрические генерирующие установки относятся к самым прочным, надежным, износостойким сооружениям и оборудованию. Прочность оборудования позволяет владельцам эксплуатировать установки без необходимости проведения ремонта в течение долгого времени. Срок надежной работы турбины до проведения необходимых плановых ремонтных работ составляет от 30 до 50 лет в зависимости от типа изделия, конструкции, качества изготовления, интенсивности эксплуатации и других критериев. Ожидаемые сроки службы гидроэлектростанции и ее подсистем до проведения ремонтных работ приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Ожидаемый срок службы гидроэлектростанции и ее подсистем до проведения ремонтных работ

Подсистема гидроэлектростанции	Ожидаемый срок службы (годы)	Факторы
Строительные работы		
Плотины, каналы, туннели, полости, резервуары, уравнительные башни	От 60 до 80	Продолжительность разрешения на использование водоема, качество работ, уровень разрушений, безопасность, уровень воды
Структуры электростанций, структуры управления водным режимом, водосбросы, песколовушки, шлюзы, стальные облицовки, дороги, мосты	От 40 до 50	Общие условия, прилагаемые усилия, качество материала, технический уровень, безопасность, качество стали, коррозия, эксплуатация
Механические установки		
Гидравлические машины		
Турбины Каплана и капсульные гидротурбины. Радиально-осевые турбины, Пельтон и турбины с неподвижной лопастью Пропеллерные турбины	От 25 до 50 От 30 до 50	Безопасность работы, уровень воды, кавитация, повреждение, эрозия, коррозия, трещины, ухудшение показателей эффективности, улучшение качества работы
Электрические установки		
Аккумуляторы, аппаратура постоянного тока.	От 10 до 20	
Трансмиссионные линии энергии		
Тяжелое механическое оборудование и вспомогательные части		
Щелевые литники, сегментные затворы, дисковые поворотные клапаны, сферические клапаны, краны, вспомогательное механическое оборудование	От 25 до 40	Качество материала, рабочие условия, соображения безопасности, качество оборудования, прилагаемые усилия, улучшение качества работы
Электрические установки		
Генераторы, трансформаторы	От 25 до 40	Состояние обмотки и сердечника, чистота, безопасность работы, технический уровень, общее состояние, качество оборудования, эксплуатация
Высоковольтный распределитель, вспомогательное электрическое оборудование, оборудование для управления	От 20 до 25	
Аккумуляторы, аппаратура постоянного тока.	От 10 до 20	
Трансмиссионные линии энергии		
Стальная опора Бетонная опора Деревянные опоры Линии и кабели	От 30 до 50 От 30 до 40 От 20 до 25 От 25 до 40	Полоса отвода, коррозия, безопасность работы, климатические условия, качество материала, современный технический уровень, мощность и условия

Однако со временем все генерирующее оборудование неизбежно изнашивается, что приводит к снижению эффективности работы, надежности и срока эксплуатации. При принятии решения о дальнейшей эксплуатации генерирующих устройств необходимо учитывать взаимосвязанные вопросы, касающиеся прибыли, стоимости эксплуатации, надежности работы оборудования, работоспособности, безопасности и роли генерирующих устройств в единой электроэнергетической системе. Несвоевременное проведение капитального ремонта может привести к поломке основных узлов и агрегатов либо к снижению эффективности работы станции. Прекращение эксплуатации генерирующих устройств не освобождает владельца от ответственности за эксплуатацию бетонных сооружений, регулирование потоков и любых других вопросов, которые касаются гидротехнического сооружения.

Главной причиной проведения ремонтных работ является обеспечение быстрого возврата инвестиций.

Среди других причин проведения ремонтных работ можно выделить следующие причины:

1) повышение надежности и работоспособности;

2) увеличение срока службы и возвращение работоспособности;

3) улучшение рабочих характеристик:

   а) эффективности;

   б) мощности;

   в) снижение изнашивания, вызванного кавитацией;

   г) увеличения эксплуатационного диапазона;

4) улучшение безопасности установки;

5) решение вопросов окружающей среды, социальных или нормативных вопросов;

6) снижение затрат на эксплуатацию;

7) решение других вопросов:

   a) соблюдение государственного регулирования;

   b) решение политических вопросов;

   c) повышение имиджа компании;

   d) изменение гидрологических условий;

   e) изменение рыночных условий.

Ремонтные работы необходимо начинать до возникновения регулярных и частых проблем с установкой, как например: неполадки обмотки генератора, трещины главного рабочего колеса, кавитационная эрозия, отказ подшипника или сдвиг фундамента (основания), который вызовет смещение оборудования. Когда установка будет находиться в таком состоянии, то станет ясно, что техническую и экономическую оценку состояния следовало выполнить несколькими годами ранее. Оценку состояния установки следует осуществлять заблаговременно. Если время оценки состояния установки приближается к окончанию срока службы станции или ее оборудования, то ремонт может быть неэффективным. Неполадки, обусловленные снижением (потерей) нормированных показателей станции в процессе эксплуатации, являются реальной угрозой и могут привести к катастрофическим последствиям. Поэтому для улучшения показателей станции необходимо своевременно проводить ремонтные работы, что приведет к повышению надежности или увеличению срока службы.

Обычно новый срок службы турбины после ремонта составляет 25 лет и более при нормальной эксплуатации. Остаточный срок службы генерирующей установки зависит от суммарных остаточных сроков службы каждого индивидуального компонента группы. Поэтому остаточный срок службы может быть определен только путем оценки всех групповых компонентов, включая бетонные сооружения.

После ремонта характеристики установки должны соответствовать характеристикам новой установки.

4.2 Увеличение надежности и коэффициента производительности

Профилактические работы могут значительно увеличить надежность и коэффициент полезного действия устройств. После проведения ремонтных работ можно достичь коэффициента полезного действия вплоть до 98 %. Как правило, это приводит к уменьшению потерь доходов, связанных с наличием устройств, не работающих во время плановых перерывов, и уменьшением незапланированных простоев.

Вынужденные перерывы для незапланированных ремонтных работ обычно стоят намного дороже, чем аналогичные запланированные ремонтные работы, особенно при последующей оценке результатов.

4.3 Продление срока службы и восстановление производительности

Срок службы турбины можно увеличить за счет ремонтных работ или замены узлов турбины. Рабочие характеристики и механическая надежность машины могут быть восстановлены практически до состояния, аналогичного новому, гарантируя безопасную и надежную работу в течение долгого времени.

Восстановление производительности в целом достигается путем восстановления проточной части и герметизирующих переходников до состояния нового изделия, хотя для проточной части вне направляющего аппарата и переходников это не всегда экономически оправдано, поэтому часто используется термин «аналогичный новому».

Ожидаемое продление срока службы турбины будет в значительной степени зависеть от типа машины и от рабочих условий до и после профилактических работ. Однако если выполнена основная работа, то будет достигнуто продление срока службы на 25 лет и более.

4.4 Повышение производительности

Прогресс в области проектирования турбин, тестирования, материалов, технологий производства и контроля послужил основанием для увеличения производительности и эффективности, а так же снижения кавитационного изнашивания. Если отсутствует кавитационное изнашивание в существующем оборудовании, то замена на новое современное оборудование должна обеспечить его характеристики на прежнем уровне или улучшить их. Величина, на которую можно увеличить производительность зависит также от гидротехнического сооружения. В большинстве случаев экономически обоснованным является замена рабочего колеса и, иногда, лопаток направляющего аппарата, особенно если устройство разбирается и повторно собирается в процессе ремонтных работ, направленных на продление срока службы или повышение надежности.

В некоторых случаях выработка электроэнергии может увеличиваться путем увеличения специфических гидравлических устройств на площадке, если конечно изменения структуры устройств для удержания воды и трубопроводов или каналов являются экономически эффективными. Обычно требуется получение административного разрешения на изменение параметров управления водой.

В обоснованных случаях может быть изменена скорость вращения устройства.

4.5 Повышение уровня безопасности станции

Без действующей программы по ремонтным и профилактическим работам будет постоянно возрастать риск возникновения неисправностей, обусловленных окончанием срока службы и соответствующими отказами устройств, которые могут повлечь за собой экономическую и гражданскую ответственность.

Особое внимание должно быть уделено определению рисков для последовательной цепочки узлов, когда появляется неисправность в основном узле, вызывающая неисправности взаимосвязанных с ним других узлов. Примером такой последовательности является возникающая неисправность в лопатке рабочего аппарата в результате эрозии или трещин. При взаимодействии неисправной лопатки рабочего аппарата с лопастями рабочего колеса возникают неисправности взаимосвязанных узлов: рабочего колеса, опорного кольца, нижнего кольца, облицовки камеры рабочего колеса и статорного кольца. В практике эксплуатации имеются зарегистрированные случаи таких последовательных повреждений. Данный вид разрушений должен быть принят во внимание для продления срока службы турбины, в связи с чем необходимо выполнение обязательных качественных ремонтных работ и профилактических мероприятий.

4.6 Нормативные и социальные вопросы и проблемы охраны окружающей среды

При проведении профилактических работ на гидроэлектростанции без дополнительной остановки работ могут быть проведены улучшающие мероприятия, направленные на:

- уменьшение загрязняющих веществ в воде;

- на выполнение требований к расходу воды;
- обеспечение поддержания необходимого уровня воды в водоеме;
- улучшение среды обитания рыб и других организмов, населяющих воду;
- уменьшение количества загрязняющих веществ на электростанции;
- увеличение содержания в воде растворимого газа (кислорода);
- обеспечение рыбоохраны;
- создание условий водных зон отдыха;
- создание условий ирригации для домашних и сельских хозяйств;
- на снижение выбросов органического топлива (любое увеличение в производстве гидроэнергии снижает эмиссию, производимую органическим топливом, основанным на производстве энергии).

4.7 Снижение затрат на ремонтные работы и эксплуатацию

Профилактические ремонтные работы могут значительно снизить издержки на эксплуатацию, обусловленные снижением затрат на заработную плату и материалы, а также от возможной потери энергии. При проведении профилактических работ можно выявить недостатки в существующей конструкции турбин, а также недостатки конструкций, приводящие к проблемам при эксплуатации: вибрациям, кавитационной эрозии или пульсации давления. Проведение профилактических работ также дает возможность автоматизировать установку и снизить дальнейшие эксплуатационные затраты.

4.8 Прочие причины выполнения ремонтных работ

На принятие решения о проведении профилактических работ и сроков их проведения могут также влиять один или несколько критериев, приведенных ниже:

- государственное регулирование и его развитие (изменение со временем) в отношении некоторых профилактических работ;
- внешние политические вопросы, которые могут не иметь прямого отношения к физическим аспектам установки, генерирующей электрическую энергию, но которые могут играть значительную роль при принятии решений о профилактике. Среди них значительным является управление водными ресурсами;
- гидрологические условия, которые могли со временем измениться;
- рыночные условия, которые могли со временем измениться;
- критерий имиджа компании, который может превалировать при принятии решения о проведении профилактических работ и иметь преимущество перед другими критериями.

5 Фазы проекта ремонтных работ

5.1 Общие положения

Ремонт установки или гидроэлектростанции представляет собой сложный и интерактивный процесс, затрагивающий выполнение большого количества процедур, который длится долгое время и проходит в несколько этапов. Ориентировочный состав данных этапов приведен на рисунке 1.

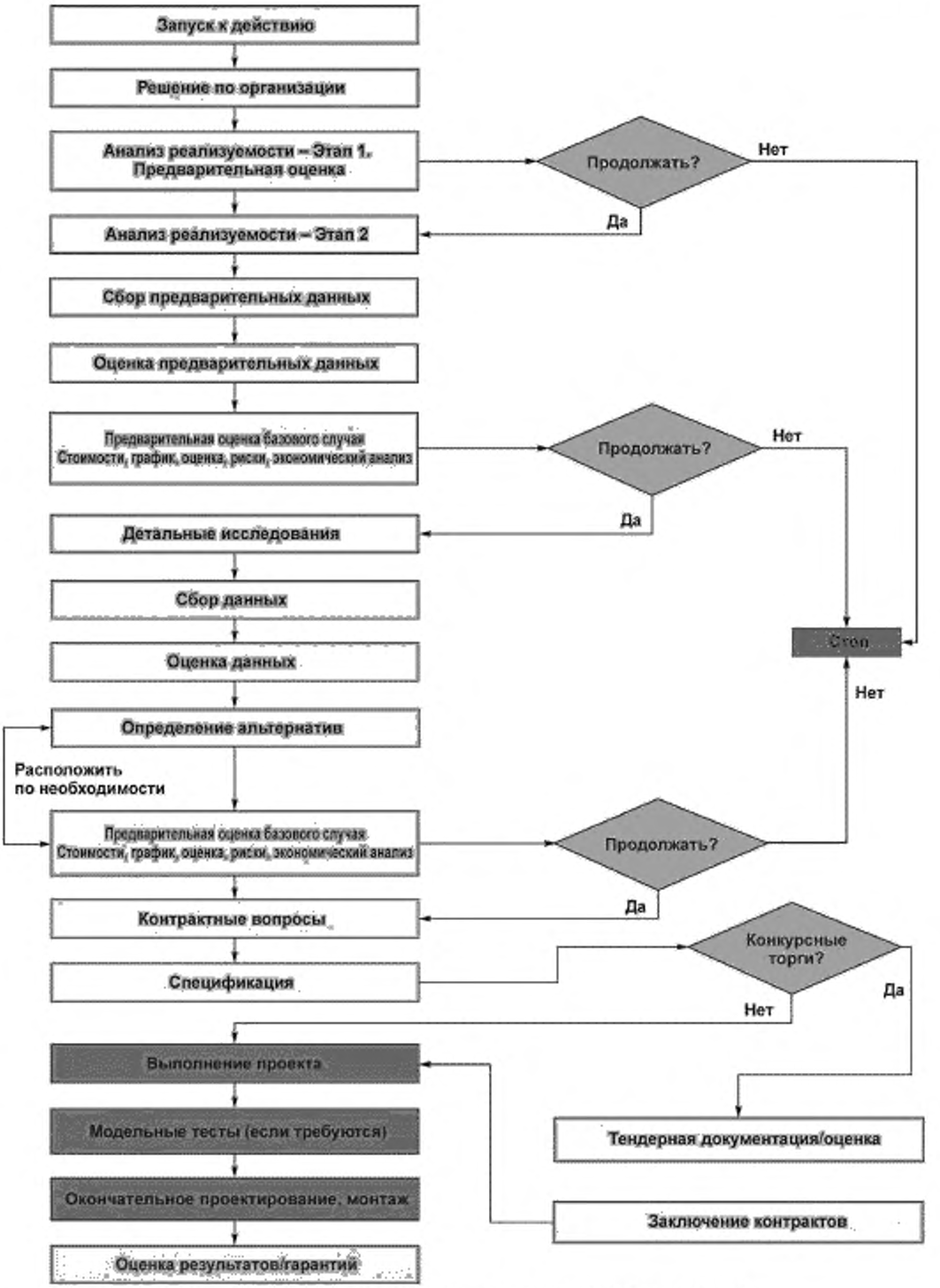

Рисунок 1 — Блок-схема, описывающая этапы проведения ремонта

5.2 Решение по организации

5.2.1 Основные положения

После принятия решения о том, что есть необходимость проведения профилактических работ, владелец гидроэлектростанции принимает решение о стратегии выполнения проекта и собирает команду проектировщиков, ответственную за выполнение проекта, от анализа реализуемости до запуска проекта.

Первоначальной задачей является определение состава команды проектировщиков. В зависимости от того, насколько полно владелец выбирает внутреннюю команду, будет зависеть состав внешней части команды. Очевидно, что формирование квалифицированной и сплоченной команды является очень важным этапом для успешной оценки, планирования и выполнения работ. На этапе оценки и определения объема работ существует несколько вариантов, которые следует выявить и оценить для того, чтобы выбрать самую выгодную стратегию для владельца. Работа команды на этапе планирования и выполнения снизит количество непредвиденных обстоятельств и тем самым снизит время простоя и связанные с этим затраты.

5.2.2 Необходимая экспертиза

При формировании команды проектировщиков владелец должен учитывать то, что профилактика является интерактивным процессом на всех этапах: от анализа реализуемости до запуска проекта. На этапе анализа реализуемости и на финальном этапе планирования при экспертизе многих различных видов работ будут учитываться лучшие экономические и другие показатели. Элементы необходимой экспертизы включают следующие вопросы:

1) вопросы эксплуатации и формирования доходов:
   a) какие проблемы возникают при эксплуатации станции и какие появятся после эксплуатации;
   b) как на сегодняшний день работают устройства;
   c) какие доплаты на сегодняшний день получает владелец;
   d) как устройство будет работать в будущем;
   e) какие доплаты будет получать владелец в дальнейшем;
2) вопросы эксплуатации гидравлики:
   a) каковы текущие ограничения и условия;
   b) какие могут быть сделаны возможные улучшения;
3) вопросы оценки оборудования (условия, пределы мощности):
   a) турбина и генератор;
   b) вспомогательное механическое и электрическое оборудование, а также инженерные сооружения;
4) оценка стоимости (все аспекты);
5) составление графиков;
6) лицензирование;
7) экономический и финансовый анализ;
8) детальное проектирование;
9) тестирование модели и испытания в условиях эксплуатации,
10) изготовление новых устройств;
11) ремонт существующих устройств;
12) перевозка;
13) монтажные работы на месте эксплуатации;
14) пусконаладочные работы.

5.2.3 Подготовка контракта

Существует две базовые стратегии в отношении подготовки контракта на все или только на одну часть проекта: конкурсные торги или контракт на договорной основе с предварительно выбранным поставщиком *(если последнее не противоречит законодательству Российской Федерации)*. Также возможно использовать комбинацию обеих стратегий:

- использовать традиционный подход конкурсных торгов, оценивая предложения и предлагая контракты;

- использовать достигнутое в ходе переговоров соглашение с предварительно выбранным поставщиком для формирования объема поставки оборудования и ремонта, проводимого внешней командой. Такое соглашение может включать только один этап процесса, касающегося оборудования, например демонтаж,

проектирование, производство, перевозка и монтаж (типично для крупных проектов), или оно может включать все этапы от анализа реализуемости до пусконаладочных работ (типично для небольших проектов). Эти соглашения могут затрагивать работу только с одним узлом оборудования, например турбиной, или одно соглашение может включать несколько взаимосвязанных узлов, например впускной клапан турбины, турбину, управляющее устройство, генератор, систему возбуждения и систему управления.

При любом из вышеперечисленных подходов в зависимости от потребностей может быть приглашен независимый консультант. Степень привлечения обычно определяется уровнем способностей и готовности эксплуатационного персонала, типом и объемом профилактических работ с привлечением как специалистов, так и оборудования, а также уровнем комфорта и уверенности, которые может обеспечить владелец при работе напрямую с поставщиком или несколькими поставщиками.

Независимо от состава команды проектировщиков должны быть четко определены объем и цели работ. При составлении соглашения или договора необходимо обеспечить ясность и однозначность формулировок.

Выбор подготовки контракта будет влиять на дальнейшие действия. Однако основные этапы очень похожи вне зависимости от типа контракта. Поэтому следующие подпункты описывают основные этапы без рассмотрения выбранного типа контракта. Владелец должен определить, насколько выбранный тип контракта будет влиять на результаты работы оборудования, стоимость, рабочий график, социальные и нормативные вопросы, вопросы охраны окружающей среды, вопросы безопасности и дальнейшую прибыль.

5.3 Углубленная оценка

5.3.1 Основные положения

Пункты с 5.3.2 по 5.3.4 описывают объем и уровень оценки: оценка реализуемости — этап 1, оценка реализуемости — этап 2 и детальное исследование. Основные различия между этими тремя этапами заключаются в степени детализации и в точности результатов.

При углубленной оценке должны быть рассмотрены альтернативные многоуровневые варианты. При обязательном рассмотрении и исключении возможности возникновения тяжких последствий для персонала, оборудования, а так же затопления территорий и ущерба окружающей среде:

- не осуществлять крупные ремонтные работы и продолжать эксплуатацию устройств до возникновения неисправностей деталей;
- выполнить ремонт деталей, в которых известны повреждения, затем эксплуатировать установку в нормальном режиме;
- восстановить элементы проточной части до их первоначального состояния (рабочее колесо, лопатки направляющего аппарата, статорные колонны, отсасывающую трубу) без разборки устройства и продолжить эксплуатацию, если физическая целостность является приемлемой или заново установленной;
- заменить рабочее колесо и, по возможности, заменить или отремонтировать лопатки направляющего аппарата, уплотнительные кольца рабочего колеса и статорные колонны для того, чтобы получить эффект независимо от того, ремонтируются или нет статорные кольца и/или отсасывающая труба.

Если рассматривается последний вариант, то необходима оценка всей силовой установки (турбина, генератор, вспомогательное оборудование и т. д.), включая компенсацию на ремонт изношенных частей и восстановление механической целостности.

Следует отметить, что пескоструйная обработка или другая чистка существующих окрашенных поверхностей могут удалять покрытия со свинцовым основанием. Такая процедура может быть довольно дорогостоящей, особенно когда она выполняется с соблюдением требований к окружающей среде. Эти затраты должны быть включены в общие затраты по проекту.

Определение объема работ является интерактивным процессом, требующим умений и опыта всей команды проектировщиков. По мере продвижения проекта процесс становится более детальным.

5.3.2 Анализ реализуемости — Этап 1

Первоначальный этап реализуемости часто выполняется внутренней командой проектировщиков. Для проведения детального исследования работники должны определить, достаточно ли сведений о сроке эксплуатации, состоянии, рабочих характеристиках и т. д. В разделе 3 приведен перечень устройств и узлов, которым необходимо проводить профилактические работы и улучшения рабочих характеристик. Если результаты данного исследования указывают на то, что есть возможность и необходимость проведения профилактики, следует провести более детальное исследование анализа реализуемости. Если требуется, на данном этапе может быть выполнен первоначальный экономический анализ.

5.3.3 Анализ реализуемости — Этап 2

Данное исследование является более детальным. При проведении такого исследования рассматривают несколько вариантов. Можно предположить, что первый вариант будет включать замену рабочего колеса и других узлов на новые, однако этот вариант не является наилучшим. Поэтому если результаты по данному варианту не будут благоприятными, то необходимо рассмотреть другие варианты. Чтобы определить, имеет ли данный проект потенциал для достижения экономического эффекта, на данном этапе следует провести приблизительную оценку рабочих характеристик, объема, стоимости и сроков. Если начальные результаты будут выглядеть благоприятным образом, можно проводить детальные исследования по проекту.

5.3.4 Детальное исследование

5.3.4.1 Основные положения

Данный этап проводится с большей детализацией и точностью, для того чтобы принять решение о продолжении работ по проекту или их прекращению.

Во время данного этапа все акционеры должны принять участие в определении объема работ, а также методов, которые будут использоваться для оценки различных вариантов. Совместная работа и получение поддержки от всех акционеров значительно снизит количество вопросов и соответствующие задержки, связанные с объемом, методами анализа и утверждением проекта.

Важно отметить, что данное руководство затрагивает только турбины. Для того чтобы экономический анализ был полным, оценку объема работ, стоимости, преимуществ, сроков и т. д. необходимо проводить для всего оборудования, включая генератор, трансформатор и т. д., а также конструкции, связанные с выработкой энергии и управлением потоков.

5.3.4.2 Сбор данных

Для того чтобы провести оценку ремонтных работ, необходимо собрать информацию, касающуюся затрат на эксплуатацию и ремонт, оценки ее изменения на постоянной основе для каждого устройства установки или по крайней мере целой установки, несмотря на то, что данное руководство концентрируется на одной установке, а именно на турбинах внутри данной установки. Следует также помнить, что для определения стратегии и расстановки приоритетов потребуется проведение всеобщей параллельной оценки всех конструкций и всего оборудования в системе. Системная стратегия направлена на снижение производственных затрат и увеличение рентабельности.

Полноценная база данных может быть создана при наличии информации, накопленной в течение десяти и более лет. В случае невозможности получения информации за обозначенный период времени допускается использовать данные за меньший промежуток времени, с учетом уменьшения точности результатов.

Желательно иметь данные за 25-летний период: гидрологические данные и данные по выработке электроэнергии.

Рекомендуется собирать следующую информацию:

- количество выработанной энергии и ее стоимость;
- оказание вспомогательных услуг и их стоимость;
- затраты на работу и эксплуатацию;
- надежность турбины, значение коэффициента использования (информация о простое — вынужденном и планируемом);
- гидравлические данные в любой существующей форме (по разгрузке по часам, неделям или месяцам, рабочий напор, уровень воды верхнего бьефа, уровень воды нижнего бьефа) за самый долгий период регистрации;
- оценка оборудования (механическая целостность) и чертежи для всех основных компонентов турбин и вспомогательного оборудования и устройств;
- оценка рабочих характеристик (первоначальное тестирование модели и/или испытания рабочих характеристик прототипа и недавние рабочие испытания прототипа или недавние испытания устройства);
- информация о первоначальных пусконаладочных работах;
- руководства по эксплуатации;
- историю изменений первоначального оборудования;
- нормативные требования, текущие и ожидаемые.

5.3.4.3 Оценка данных

5.3.4.3.1 Основные положения

Оценка данных проводится для того, чтобы выявить:

- тенденцию общей нагрузки (производительность и потери) во времени;
- тенденцию выработки энергии по годам;
- тенденцию годовой производительности и эксплуатационных затрат во времени;
- тенденцию прибыли во времени;
- фактор загрузки станции во времени;
- определение механической целостности турбины;
- определение возможности улучшения характеристик с текущими или планируемыми гидравлическими условиями.

5.3.4.3.2 Надежность установки, коэффициент использования и ограниченная работа

Значительное увеличение времени простоя установки является причиной необходимости рассмотрения возможности проведения ремонтных работ. Но перед началом любого исследования важно иметь полную информацию о времени простоев установки, их природе, частоте и длительности в течение по крайней мере последних десяти лет для того, чтобы определить их тенденцию.

При оценке простоев, связанных с неисправностью оборудования, следует различать вынужденные периоды простоя и планируемые отключения с целью ремонта, так как они имеют различные последствия и стоимость. Часто вынужденные периоды простоя возникают вследствие невозможности запуска. Любой тип простоя может привести, в дополнение к непосредственным эксплуатационным затратам, к значительной потере прибыли из-за производственных причин или из-за стоимости замены энергии.

Ограничения на работу в определенных диапазонах мощностей могут значительно снизить операционную гибкость установки и получение прибыли. Устранение или снижение данных ограничений должно являться одной из целей по улучшению рабочих характеристик.

Все эти факторы должны быть приняты во внимание при оценке проекта ремонтных работ.

5.3.4.3.3 Работа установки и стоимость технического обслуживания

Важно получить всю информацию, касающуюся работы турбины, документацию по техническому обслуживанию о ремонтах, которые проводились, и времени (или стоимости с учетом инфляции), которое было потрачено на ремонтные работы в течение последних десяти лет или более лет. Данная информация будет служить инструментом при оценке износа турбины, при обнаружении проблемных компонентов и при определении потенциального снижения стоимости после осуществления проекта ремонтных работ турбины.

Снижение потенциальной стоимости технического обслуживания обычно является вторичными к другим преимуществам, однако они также должны быть рассмотрены в детальном экономическом анализе сравнительных вариантов.

Также важно проанализировать причины проблем. Например, являются ли они случайными неисправностями или повторяемыми неисправностями одних и тех же частей, связанными с недостатками конструкции, например трещины в рабочем колесе, кавитационная эрозия, вибрация или гидравлическая нестабильность, или проблемами, связанными с отсутствующими или неисправными инструментами.

5.3.4.4 Определение сравнительных вариантов

Должно быть изучено достаточное количество вариантов, чтобы убедиться в том, что был выбран наилучший. Может быть выявлено большое количество различных комбинаций проектных характеристик турбины, мероприятий для увеличения продолжительности срока службы, уменьшения продолжительности времени простоя и т. д. Для ограничения количества вариантов, которые должны быть изучены, и времени, потраченного на изучение, необходимо использовать логический метод отбора. Метод отбора существенно зависит от места проведения работ и владельца, поэтому не может быть описан в настоящем стандарте. Определение наилучшего сравнительного варианта является интерактивным процессом, требующим наличия умений целой команды проектировщиков при проведении экспертизы. Новая конструкция рабочего колеса может привести к значительному увеличению производительности. Однако если для увеличения производительности рабочего колеса потребуется отремонтировать или заменить множество механических или электрических узлов силового агрегата, такой вариант не может быть признан наилучшим решением.

Каждый вариант должен предусматривать самостоятельный анализ с определением преимуществ, стоимости и экономического анализа.

Примеры изменений элементов проточной части, которые могут привести к различным сравнительным вариантам:

- заменить рабочее колесо, включая новые неподвижные и вращающиеся компенсационные кольца, если возможно;

- обновить поверхности проточной части;
- изменить форму статорных колонн;
- изменить или заменить направляющие лопатки;
- увеличить открытие направляющего аппарата;
- изменить форму отсасывающей трубы;
- изменить впускной клапан турбины или заменить его;
- изменить крышку турбины для размещения более эффективного уплотнения.

Если производительность турбины возрастет, то необходимо проанализировать все компоненты (механические и электрические) в силовой установке, включая следующие:

- каналы, подводящие туннели и шлюзы;
- валы;
- ход серводвигателя направляющего аппарата и рабочее давление;
- ход серводвигателя поворотно-лопастного рабочего колеса (Каплана) и давление;
- опорно-упорный подшипник;
- регуляторы;
- генераторы;
- шины и кабели;
- трансформаторы;
- системы возбуждения;
- линии передачи;
- оборудование переключения.

Электрическое оборудование не является предметом рассмотрения настоящего стандарта.

Оценка мероприятий должна быть проведена раздельно по направлениям:

- мероприятия для повышения производительности;
- для восстановления требуемого уровня надежности;
- для прочих целей, например охраны окружающей среды, решения социальных задач и нормативных проблем.

Для электростанции с большим количеством устройств и низким коэффициентом использования следует оценить, нужно ли проводить профилактику всех частей на одном уровне сложности. Устройства, которые находятся в работе постоянно, могут быть отремонтированы и работать дальше, а устройства, которые используются редко и непродолжительно во время пиковой нагрузки, могут не подвергаться ремонту.

Обычно профилактические работы можно провести без разбора турбины. Однако некоторые проблемы, например трещину на поверхности проточной части облицовки, нельзя обнаружить до тех пор, пока устройство не будет разобрано. Такой ремонт может вызвать значительное увеличение времени простоя. Подобные нештатные ситуации должны быть включены в любой план по ремонту.

5.3.4.5 Определение содержания сравнительных вариантов

Для каждого сравнительного варианта необходимо детально перечислить планируемые изменения или замену элементов оборудования. Важно определить, какие детали могут быть заменены во время остановки агрегата. Данный список заменяемого оборудования позволит определить затраты и выработать требования по доставке оборудования.

Несмотря на то, что настоящий стандарт описывает только вопросы ремонта элементов турбины, сведения о замене и ремонте деталей необходимо приготовить для всего оборудования, включая регулятор, генератор, трансформатор и т. д. Также должны предусматриваться любые изменения к инженерным конструкциям.

5.3.4.6 Определение стоимости сравнительных вариантов

При определении стоимости ремонтных работ должны рассматриваться следующие элементы:

- затраты, связанные с поставкой новых или заменой элементов;
- затраты, связанные с проектированием и проектом владельца, поставщиков и консультантов;
- затраты, связанные с изменением существующих элементов;
- единовременные затраты, такие как модельные тесты, полевые испытания, затраты на образцы и т. д.;
- затраты на полевые работы: разборка, повторная сборка, машинная обработка, ремонт крана и т. д.;
- затраты из-за потерянной прибыли во время простоя (электроэнергия, мощность и другие дополнительные службы);

- изменения стоимости работы и ремонта;
- вероятность неопределенных проблем на этапах планирования;
- финансирование или процентные начисления;
- шкала надбавок и скидок;
- затраты на охрану окружающей среды, социальные и правовые вопросы.

5.3.4.7 Выбор графика отключения для сравнительных вариантов

Для каждого сравнительного варианта должен быть рассмотрен график отключения оборудования. Время года, когда производят отключение установки, и продолжительность отключения, как правило, существенно влияют на величину потерь из-за недопроизводства электроэнергии. Отключение одного устройства в год возможно произвести в период времени, когда потребность в электроэнергии невелика и показатели стоимости электроэнергии минимальные, при этом стоимость каждого отключения должна включать стоимость подготовительных работ и стоимость демобилизационных работ, и стоимость повторного включения. Для электростанций, состоящих из большого количества гидроагрегатов сравнительно небольшой мощности, последовательное отключение гидроагрегатов для ремонта позволит снизить стоимость затрат на подготовительные работы и работы на демобилизацию, обеспечить стабильность ремонтного персонала. В этом случае владелец электростанции сможет быстрее получить прибыль. Во многих случаях последовательные отключения не будут экономически оправданы, т. к. время отключения гидроагрегатов может затрагивать периоды, в которые электростанции получают максимальный доход, к тому же во время последовательных отключений электростанции будут не в состоянии удовлетворять покрытие пиковой мощности.

5.3.4.8 Определение преимуществ сравнительных вариантов

Преимущества для каждого сравнительного варианта определяются по следующим признакам:

- получение ожидаемых рабочих характеристик оборудования, его эффективности и производительности при существующих гидрологических условиях, а также производительности и эффективности ремонтного персонала;
- расчет увеличения прибыли в финансовом анализе на основе математической модели управления работой электростанции с заданными рабочими характеристиками оборудования, установленной схемой эксплуатации и ожидаемым количеством произведенной для заданного количества лет электроэнергии;
- оценка стоимости эксплуатационных расходов и расходов на техническое обслуживание;
- оценка дополнительных выгод.

5.3.4.9 Управление рисками сравнительных вариантов

Риски каждого из сравнительных вариантов должны быть изучены, просчитаны и оценены. Зоны риска включают в себя следующее:

- не достижение заданного уровня производительности (мощности, эффективности, нестабильность гидравлических характеристик и кавитационный питтинг);
- отказ или разрушение деталей, элементов конструкции которые не были отремонтированы и расчет сопряженных потерь выработки электроэнергии;
- повреждение деталей, элементов конструкций, которые не планировались для ремонта, обнаруженное после демонтажа;
- рост ставок (рекомендуется анализ чувствительности);
- риск, связанный с курсом валют (если это актуально);
- соотношение затрат и прибыли (рекомендуется анализ чувствительности);
- длительные периоды отключения электроэнергии и потери, связанные с этим;
- риск, связанный с безопасностью, окружающей средой и т. д.;
- конъюнктура рынка;
- риск, связанный с материальной ответственностью.

Необходимо отметить, что уровень риска каждого из сравнительных вариантов определяется перечнем присущих ему рисков.

5.3.4.10 Экономический анализ альтернатив

Для выбора оптимального решения необходимо выполнить экономический анализ для каждого варианта. Для выработки финансовых требований и общей перспективности проекта после выбора оптимального решения необходимо выполнить финансовый анализ.

5.4 Специфико-технические требования на фазе подготовки к тендерам

5.4.1 Основные положения

Требования настоящего подпункта могут применяться либо при определении цены, либо при составлении контракта с партнерами. Точное содержание документов при двух подходах может отличаться.

5.4.2 Технические требования

Объем поставки каждого вида деятельности или узла, цели и оценка ответственности и график проекта должны быть определены точно и четко.

Во время написания технических требований для проекта по ремонту трудно осветить всю работу в деталях и выполнить разделение обязанностей между подрядчиками и владельцем, т. к. случаются непредсказуемые события, которые приводят к последующим изменениям. В контракт должен быть включен пункт об изменениях в объеме и дополнительной работе. Ставки заработной платы для различных профессий также должны быть упомянуты в тендере, чтобы покрыть дополнительную работу, включая полевой труд. Также в тендере должны быть указаны цены определяемых потенциальных дополнительных поставляемых деталей.

График всех работ должен быть четко определен. Эти работы должны включать оценку, определение объема, подготовку технических требований, консультации, поставку оборудования, проведение ремонта оборудования, разборку, повторную сборку, управление проектом и т. д.

Планируемые улучшения рабочих характеристик должны быть четко определены в отношении электроснабжения, эффективности, кавитационной эрозии и рабочей стабильности. Улучшения рабочих характеристик турбины могут быть определены с помощью теста перед остановкой агрегата, за которым следует тест после окончания остановки; оба выполняются на том же устройстве, с использованием таких же методов и желательно используя такие же инструменты, тесты проводит та же тестовая команда.

При подготовке технических требований требуется решение по методу подтверждения гарантии рабочих характеристик: тестирование модели или сравнительное или абсолютное тестирование эффективности (в заводе) или и то, и другое.

Среда, в которой подготавливается техническая спецификация и в которой привлекаются участники команды, будет зависеть от выбранной стратегии выполнения проекта по ремонту.

5.4.3 Тендерная документация и оценка тендеров

Точное использование тендерной документации будет зависеть от типа используемого контракта. Тендерная документация может быть использована для выбора партнера или партнеров (в начале проекта), поставки компонентов и/или услуг, или для того и другого. Цель и задачи тендерных документов для проекта ремонта являются такими же, как и для других крупных контрактов.

Из содержания тендерной документации должно быть ясно, что претенденты будут подавать документы и оцениваться на общих основаниях. Для того, чтобы этого достичь, владелец должен сделать доступным для всех претендентов информацию, относящуюся к проектированию и работе существующей установки и всю информацию по условиям. Это должно быть сделано с учетом существующего законодательства в сфере защиты авторских прав. Тендерные документы должны гарантировать обязательное посещение площадки на раннем сроке тендера, с доступом к проточной части турбины, и об этом должны быть информированы все претенденты.

В процессе оценки тендера должна быть предусмотрена возможность для дополнительных разъяснений и изменений. Требования по улучшению рабочих характеристик должны тщательно анализироваться для того, чтобы убедиться в технической логике, которая привела потенциального поставщика к заключениям по проведению ремонта, особенно в области ремонта или замены турбин, т. к. другие компоненты водотока и скорость установки могут не подходить для нового современного рабочего колеса турбины.

Критерии оценки тендера должны быть четко определены. Стоимость дополнительно выработанной энергии, кВт·ч, чаще всего определяется стоимостью увеличения средней эффективности и/или увеличения мощности. Тендерная документация должна либо детально уточнять критерии оценки тендера, либо уточнять варианты, которые должны быть оценены и описаны в тендере вместе с их влиянием на гарантированную работу.

Другим ключевым критерием является стоимость времени простоя, которая может быть представлена как стоимость за день в текущем году. Управление периодом простоя включает рассмотрения баланса между стоимостями новых частей для замены при ремонте и затрат, вызванных длительностью простоя. Владелец может установить бонусы за раннее завершение и штрафные санкции за задержку завершения проекта.

Стратегии оценки рабочих характеристик должны гарантировать, что участники тендера подают предложение на реальный уровень гарантий. Все эти гарантии включают оценку гарантий рабочих характеристик во время оценки тендера с выбранным подрядчиком, при этом некоторые из них включают бонусы и штрафы за завершение модельных и полевых испытаний.

5.4.4 Заключение контракта

Контрактные документы должны согласовываться со всеми другими документами, используемыми перед заключением контракта. Эти и другие документы включают тендерную документацию, все графики к тендерной документации, тендер выбранного поставщика (поставщиков), протокол разъяснительных совещаний и/или переговоров и любую другую документацию, которая может быть связана с выполнением контракта. Контрактная документация будет определять все варианты и объем альтернатив, которые должны сохраняться для выполнения проекта.

5.5 Выполнение проекта

5.5.1 Модельные испытания

Владелец должен отслеживать все последующие действия в процессе или при определении объема работ, требуемого внутренней политикой:

- результаты проектирования, чертежи и спецификации на материалы;
- производство с учетом соответствующих допусков и соответствий чертежей и спецификаций на материалы;
- монтаж в отношении соответствия чертежам, допускам и процедурам;
- испытания модели турбины в лаборатории производителя или, если необходимо, в независимой лаборатории, включая калибровку приборов.

Если выбирается вариант конкурсных торгов, который предусматривает испытания моделей турбин, для их последующего сравнения, в лаборатории производителя и независимой лаборатории, то должны быть выбраны, по крайней мере, два поставщика турбин.

Важно понимать, что полностью соответствующие модельные испытания будут служить гарантией возврата доходов, которые будут получены после усовершенствования устройств, при условии, что не нарушится состояние всей поверхности проточной части. Поэтому при планировании проекта можно предусмотреть испытания по отдельным контрактам на ранней стадии детального исследования.

Если проект сравнительно небольшой, модельные испытания могут быть экономически нецелесообразными. В таких случаях проект может предусматривать математическое моделирование процессов или устройств вместо модельных испытаний.

5.5.2 Проектирование, конструкция, монтаж и тестирование

Владелец в процессе определения объема работ должен отслеживать исполнение следующих действий:

- конструкция узлов, чертежи и спецификации на материалы;
- выбор материалов по сравнению с указанными материалами;
- требования к гарантии качества и контролю качества (осмотру);
- заводские испытания и осмотры;
- контроль размеров и соответствующее подтверждение (особенно для рабочего колеса) в соответствии с [1] и техническими требованиями контракта;
- разборка площадки, восстановление или изменения узлов, повторная сборка и отладка;
- ввод устройства в эксплуатацию;
- прототипные эксплуатационные испытания (абсолютная эффективность), тестирование питания или определение строительных свойств грунта (сравнительная эффективность);
- тестирование сброса нагрузки;
- тестирование рабочего колеса для определения собственных частот и форм вибраций;
- проверка указателей компонентов турбины;
- испытания дифференциального давления серводвигателя;
- механическое тепловое испытание — измерение температур подшипника и масла;

5.6 Оценка результатов и соответствие гарантии

5.6.1 Общие положения

Гарантия может устанавливаться на:

- модернизированное электрооборудование и/или эффективность устройств, основанные на модельном тестировании и/или прототипных (относительных или абсолютных) испытаниях;

- выполнение программы;
- допустимый предел разрушения (эрозии) вследствие кавитации;
- ограничение разгонного числа оборотов.

5.6.2 Оценка работы турбины

Оценка работы турбины обычно выполняется стандартно с помощью модельных испытаний в соответствии с [1] и/или прототипных испытаний (абсолютных или относительных) в соответствии с ГОСТ 28842, в зависимости от того, что требуется в соответствии с контрактной документацией. ГОСТ 28842 устанавливает требования к подготовке испытаний на площадке, чтобы определить объем соответствия контрактным гарантиям. Этот метод лучше всего подходит в случае, когда модельные испытания не проводятся полностью или когда прототипные узлы не имеют полную геометричную схожесть с моделью. Стоимость измерения и уровень неточности измерения представляют главные недостатки данного метода подтверждения соответствия рабочих характеристик гарантиям. Однако проведение испытаний до и после на одном и том же устройстве с использованием одинакового оборудования и проводимые одной командой снижает систематические неточности.

На стадии подготовки конкурсной документации и перед тем, как будут определены гарантии, необходимо нормировать неровности поверхностей проточного тракта. Это особенно важно для рабочего колеса и направляющего аппарата (статорное кольцо, направляющие лопатки и поверхности водотока, нижнее кольцо и опорное кольцо), потери на трение которых очень важны при определении общей эффективности турбины. Наличие данной информации в тендерной документации позволяет оценить потенциальные преимущества различных вариантов относительно улучшения поверхностей проточной части.

После окончания гарантийного периода работы следует провести исследование кавитационной эрозии. При исследовании необходимо записать и нанести на карту любое эрозионное повреждение на рабочем колесе и прилегающих компонентах. Затем повреждение сравнивается с допустимым повреждением, установленным гарантированными обязательствами в контрактной документации. Методы оценки — в соответствии с ГОСТ 28446.

5.6.3 Оценка работы генератора

Если контракт основывается на эффективности турбины в сравнении с эффективностью устройства, производственные испытания генератора должны выполняться в соответствии со стандартными методиками.

5.6.4 Бонусы и штрафные санкции

В любой момент вышеуказанного процесса владелец может определить бонусы и/или штрафные санкции в соответствие с контрактом. Бонусы и/или штрафные санкции могут быть основаны на модельных и/или прототипных рабочих характеристиках, разрушении вследствие кавитации (кавитационной эрозии), соответствии графику, стоимостям, безопасности и любым другим аспектам интересов владельца.

6 Составление графика работ, анализ стоимостей и рисков

6.1 Составление графика

6.1.1 Основные положения

Следует рассмотреть составление графиков для всех фаз проекта ремонтных работ, включая оценку оборудования, анализ реализуемости, определение объема работ, подготовку технических требований и выполнение проекта. Организация проекта будет оказывать влияние на составление графиков для различной проектной деятельности, но несмотря на то, как организован проект, вся проектная деятельность должна быть выполнена в логичном порядке. Составление графика является инструментом управления проектом, используемым для координации действий и обеспечения своевременного и выгодного завершения рабочих проектов. Для того чтобы определить объем работ, должны быть установлены рабочий план и график, чтобы убедиться в том, что все действия, требуемые для определения объема работ, будут завершены вовремя и что выполняются только действия, требуемые для определения объема работ.

Время, требуемое для окончания данных действий, и связанные с этим затраты почти всегда являются значительными факторами для определения реализуемости проекта. Затраты тесно связаны с продолжительностью работы. Затраты могут увеличиваться, если работа будет завершена в необычно краткий период времени, и также могут увеличиваться, если работа затягивается на долгий период времени.

В независимости от того, какой инструмент используется для организации процесса планирования, он должен быть детальным, чтобы определить, кто и какое выполняет действие, и когда выполняет. Чем более сжатый график, тем более важным становится детальное планирование и составление графика. Процесс планирования должен включать логическую идентификацию работы, требуемой для тщательного исполнения действий оценки. В независимости от того, какой метод составления графика применяется, основные требования являются общими для всех методов:

- определение — определение рабочих требований и разбивка на специфические действия или задания;

- задание последовательности — установление логического порядка, в котором будут выполняться рабочие действия;

- зависимость — определение внутренней зависимости действий и заданий. Следует ли завершить одно действие перед началом другого;

- продолжительность — установление разумной продолжительности для каждого действия. Определить уровень усилий (работа) и продолжительность времени (длительность), требуемые для завершения каждого действия.

Следует разработать детальный рабочий план для всех фаз проекта, а также должны быть определены специфические условия. Как только будет установлен рабочий план (кто делает, что и когда), может быть выполнено задание последовательности.

6.1.2 Составление графика — фазы оценки, анализа реализуемости и детального исследования

Сбор и оценка исторического стока реки и информация о работе гидроэлектростанции, а также проведение детальной оценки оборудования могут занять очень много времени, но эта информация может значительно повлиять на технические и экономические аспекты проекта. Организационная стратегия проектной команды может оказывать влияние на график.

Также значительное влияние на составление графика могут оказать следующие факторы:

- будет ли задействован подрядчик или консультант на каком-либо этапе проекта;

- сможет ли состав сотрудников работать над несколькими действиями или понадобятся дополнительные ресурсы;

- как долго займет ожидание различных согласований (в том числе от государственных организаций);

- могут ли проводиться оценочные действия во время регулярно проводимых ремонтных простоев в часы внепиковой нагрузки.

6.1.3 Оценка компонента графика сравнительных вариантов

При определении «базовой линии» объема работ и объема для каждой альтернативы следует рассматривать их влияние на общий график проекта и влияние на стоимость проекта. Оценка требований по времени для каждой альтернативы, если оно не находится в рамках информации владельца, может быть получено от производителей оборудования или от опытных консультирующих инженеров. Альтернативные варианты графика могут оцениваться для определения самого выгодного варианта.

Стоимость этапа проектирования является значительной частью стоимости всего проекта, и часто имеется возможность минимизировать некоторые из стоимостей проектирования путем тщательного составления графика работ. Преимущества и недостатки различных альтернатив графика должны сравниваться с недостатками и стоимостью.

При этом для рассмотрения важными являются следующие факторы:

- существуют ли преимущества при организации простоев в период минимальной выработки энергии (для минимальных убытков). Время года и продолжительность могут иметь большое значение на стоимость простоя. Прежние затраты (как на энергию, так и на мощность) следует оценивать при определении графика;

- некоторые недостатки при прерывании графика работ или его непоследовательности могут включать демобилизацию проекта или подрядчика, потерю членов команды и квалифицированных рабочих, а также необходимость повторения обучения с новой командой;

- возможность сборки разборных узлов до того, как устройство будет эксплуатироваться, или между простоями, для снижения их продолжительности;

- возможность составления графика ремонтных работ таким образом, чтобы узлы ремонтировались параллельно, перекрывая время простоя, или даже составление графика для множества периодов простоя, что также может снизить продолжительность проекта;

- следует оценить предельные нагрузки на перекрытие, места монтирования внутри силовой установки, места хранения вне силовой установки. Это особенно важно, если работа ведется по нескольким устройствам одновременно или если ремонтные работы предполагают использовать более тяжелые компоненты, чем оригинальные. Большинство силовых установок имеют различную нагрузку, с различной мощностью в различных областях;

- для частей, которые будут отремонтированы и заново использованы, следует определить, повлияет ли это на критическую часть проекта. Следует рассмотреть возможность установки новой детали для первого устройства, а затем ремонт данной детали, убранной из первого устройства, и установки ее во второе устройство и так далее. Этот подход применяется только для ремонта множественных идентичных устройств;

- как могут повлиять неожиданно возникающие обстоятельства на график выполнения работ. Достаточно ли гибко составлен график, чтобы предусмотреть неожиданные изменения в планируемой деятельности, или будет необходимо производить дополнительную деятельность для минимизации последствий неожиданно возникающих обстоятельств;

- другие ограничения (такие, как, например, миграционные периоды) которые могут оказать влияние на периоды, когда устройства готовы к ремонту;

- влияние продолжительности графика ремонтных работ на денежный поток, шкалу надбавок и денежные затраты;

- продолжительность транспортировки.

- сезонные ограничения доступа.

6.1.4 Спецификация планирования и тендерная фаза

Следует предусмотреть, чтобы было достаточно времени для разработки и рассмотрения с тендерной документацией для обеспечения ее полноты и правильности. Продолжительность этапов тендера будет зависеть от стратегии выбора подрядчика, но в любом случае должно быть достаточно времени для:

- изучения квалификации участников тендера;

- посещение площадки участниками тендера для осмотра стандартного (или «проблемного») устройства на ранней стадии тендера;

- ответы на вопросы участников тендера;

- подготовка тендеров;

- оценка тендеров;

- обсуждения терминов и внутренних одобрений;

- заключение контракта (контрактов).

6.1.5 Составление графика фаз выполнения проекта

График для выполнения этапа проекта может иметь значительное влияние на общую рентабельность проекта. Задержки при выполнении проекта, конструкции или монтажа могут привести к превышению затрат. Участникам тендера следует подготовить детальный график, который затем должен быть подтвержден выбранным подрядчиком, для того, чтобы владелец мог отслеживать прогресс. График должен регулярно обновляться и отслеживаться эксплуатационным составом. Если проект начинает отставать от графика, следует применить план действий в непредвиденных ситуациях, чтобы вернуться к графику контракта.

Следует оценить все события, которые могут оказывать влияние на график. Некоторыми из аспектов, которые следует рассмотреть, являются:

- продолжительность времени простоя (потеря возможности выработки энергии);

- разработка графика подготовки вспомогательного оборудования до начала ремонтных работ, который включает краны, подъемные устройства, водосливные и дренажные системы, верхние ворота, впускные клапаны турбин, шандорные затворы и т. д.;

- влияние таких опасных или токсичных веществ, как свинец, асбест или полихлорбифенил;

- влияние осмотров, следующих за разборкой и модернизацией оборудования или компонентов, которые должны быть заново использованы. Следует обеспечить достаточное количество времени в графике для ремонта критических компонентов или запасных частей;

- влияние поврежденного оборудования или компонентов и проблем, которые не прогнозировались и не были обнаружены до разборки устройств;

- следует рассмотреть и учесть отклонения от запланированного графика работ, связанного с затратами на сверхурочное рабочее время, усталость рабочего вследствие сверхурочных часов, передачу информации, качество управления при возникающих отклонениях и т. д.;

- следует проанализировать режимы транспортировки для доступа силовой установки (и их ограничения), доступность мест складирования на площадке, ограничения доступа в силовую установку, мобилизация и подсобные площадки.

6.2 Экономический и финансовый анализ

6.2.1 Основные положения

До начала любых основных ремонтных работ или работ по улучшению рабочих характеристик следует отметить, что основные инвестиционные решения будут оцениваться в течение срока действия проекта. Большинство организаций имеет свои процедуры по экономической и финансовой оценке, которые используют перед вложением средств и которые не должны заменять процедуры заказчика. Получить при необходимости профессиональную помощь можно будет у финансового аналитика, который обеспечит точное следование соответствующим процедурам. Однако члены проектной команды должны определить и оценить факторы, которые будут влиять на стоимость проекта, и рассмотреть различные варианты решений.

Для любого проекта по ремонту или улучшению рабочих характеристик может быть несколько различных вариантов, и непросто определить лучший вариант. Некоторые решения могут быть легкими, например необходимость замены подшипников, покрытых смазкой. Однако другие решения являются менее очевидными и требуют анализа финансового анализа перед принятием решения.

Следует выполнить оценку стоимости (экономические анализы) различных альтернатив, определяемых на этапе детального изучения для того, чтобы оценить различные альтернативы и оценить самый выгодный вариант проекта. Анализы оценки стоимости могут быть очень простыми или довольно сложными, в зависимости от размера проекта, количества применяемых устройств, количества изученных альтернатив и т. д.

Часто полезным для инженера является выполнение упрощенного экономического анализа, такого как инструмент отслеживания, чтобы определить альтернативы, обеспечивающие наибольшую экономическую выгоду, и снизить количество вариантов, которые будут исследоваться более детально. Как базовый вариант ремонт или улучшение рабочих характеристик можно сравнить с продолжительной работой существующей станции без проведения ремонтных работ, при условии, что у существующей станции нет очевидных проблем.

При определении необходимости продолжать работу следует сравнить финансовые характеристики станции с минимальным вмешательством с характеристиками установки, прошедшей полный ремонт и процедуру по улучшению рабочих характеристик.

6.2.2 Расчет прибыли

Хотя настоящий стандарт устанавливает требования к проведению ремонтных работ или улучшения рабочих характеристик гидравлических турбин, для всей генерирующей станции было бы не логично рассматривать ремонт турбины самой по себе, не принимая во внимания остальные узлы станции. Поэтому анализ выгод должен включать все детали проекта, включая все оборудование и структуры, необходимые для надежной выработки энергии.

Используются различные экономические методы оценки реализуемости капиталовложений. Общие инструменты экономической оценки включают:

- чистую приведенную стоимость (NPV);
- соотношение затрат/выгод (B/C);
- внутреннюю норму прибыли (IRR);
- период окупаемости.

Для того, чтобы уравновесить кратковременные затраты на ремонт с долговременными выгодами, большинство программ использует некоторую форму настоящей или чистой приведенной стоимости, чтобы связать потоки затрат и выгод, которые возникают со временем. Настоящий метод оценки является прямолинейным, может использоваться для сравнения постепенно нарастающих затрат и выгод и не требует детальных финансовых критериев.

Настоящая ценность всех приобретенных после ремонта выгод сравнивается с текущей стоимостью всех затрат, приписываемых ремонтным работам в течение определенного периода времени. Сравнения можно выполнить путем вычитания текущей стоимости затрат от приведенной стоимости затрат или путем деления приведенной стоимости затрат для получения соотношения затрат выгод. Теоретически, вложения в ремонтные работы оправдываются тогда, когда выгоды превосходят затраты или если соотношение затрат/выгод будет больше 1,0 с допуском на запасной план и с обеспечением положительного возврата инвестиций.

Следует отметить, что для проведения ремонта или улучшения характеристик некоторых проектов будут затрачены некоторые средства, независимо от того, был ли проведен ремонт. Выгоды и затраты ремонтных работ следует сравнить с выгодами и затратами базового случая. Поэтому крайне важно, чтобы выгоды и затраты базового случая были детально представлены. Могут использоваться различные подходы к определению базового случая, от списания устройств при их сбое до сохранения станции в рабочем состоянии путем ремонта или замены компонентов при сбое. Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание повысятся, а производство со временем снизится. Другим подходом рассмотрения является «увеличение срока службы», где устройство разбирается и затем вновь собирается для того, чтобы осмотреть и отремонтировать механические компоненты до состояния «как новое». Для данного подхода стоимость разборки и сборки включены в затраты вместе с затратами при простое и упущенными доходами.

Следует осторожно оценивать альтернативы при использовании только дополнительных выгод и затрат, напрямую приписываемых оцениваемым альтернативам. Каждая стоимость и затрата на энергосистему являются уникальными для данной системы, поэтому последующие требования следует применять только как руководство. Таким образом, собственные финансовые составляющие энергосистемы следует использовать в любом случае, когда является возможным определить затраты и выгоды, связанные с ремонтными работами или программой по улучшению технических характеристик.

6.2.3 Определение ожидаемых выгод

6.2.3.1 Общие положения

Интервал времени, используемый для оценки рабочих выгод, это период, за который организация хочет вернуть затраты на ремонтные работы или программу по улучшению технических характеристик. Период оценки может являться ожидаемым сроком службы отремонтированного устройства, периодом финансирования или более коротким периодом — в случае более быстрой окупаемости вложений. Период оценки будет устанавливаться каждой индивидуальной организацией в зависимости от собственных условий.

6.2.3.2 Оценка преимущества в результате производства электроэнергии гидроэлектростанцией

Преимущества в результате производства электроэнергии гидроэлектростанцией включают следующее:

- увеличенная выработка — следует оценить и сравнить альтернативы, которые увеличивают мощность или выработку энергии станции, для определения лучшего сценария затрат/выгод;

- увеличенная эффективность — будут рассматриваться эффективность, доходы от ремонтных работ или процедуры по улучшению характеристик, так как даже небольшие доходы от увеличения производительности обеспечивают значительные экономические выгоды в течение срока службы проекта, особенно, если устройства будут отремонтированы по причине продолжения срока службы;

- доход от вспомогательных служб — они включают такие факторы, как вращательный реверс, реактивный рычаг мощности, холодный пуск, AGG (автоматическая выработка или прямое управление частотой);

- другие выгоды, связанные с предлагаемой (оптимальной) альтернативой.

6.2.3.3 Преимущества от эксплуатации и технического обслуживания

Преимущества от эксплуатации и технического обслуживания включают следующее:

- увеличение производительности — можно получить значительную выгоду путем снижения нормы времени простоя и увеличения производительности устройства, таким образом увеличивая надежность установки;

- усовершенствование эксплуатации — эксплуатацию можно улучшить путем объединения современных систем управления и замены или ремонта поврежденного вспомогательного оборудования станции. Многие ручные устройства можно заменить устройствами автоматического определения данных или устройствами диспетчерского управления;

- снижение затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание — затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание отремонтированной станции часто можно значительно снизить, если станция будет продолжать работать при проведении ремонтных работ;

- оценка требований к персоналу после проведения ремонта также может обеспечить значительную экономическую выгоду. Это особенно будет эффективно, когда время работы персонала с 24 часов в сутки будет сокращено до одной смены или изменена система управления на дистанционное, при которой можно сократить рабочие места;

- интервалы между техническим обслуживанием также можно увеличить после ремонта, а объем выполняемого технического обслуживания в результате ремонта следует значительно сократить;

- страхование — довольно часто затраты на страхование можно снизить при установке современного оборудования с улучшенными системами отслеживания, управления и защиты.

6.2.3.4 Экологическая выгода

Ремонт гидроэлектростанции или программы по улучшению технических характеристик оборудования может привести к такому усовершенствованию техники, которое может обеспечить как экологическую выгоду, так и доходы от эксплуатации и технического обслуживания. Примером может служить замена подшипников, покрытых смазкой, на самосмазывающиеся подшипники.

Усовершенствованные устройства прогона рыбы можно соединить с конструкцией турбины, если рыба является важной частью данного проекта. Также возможна улучшенная вентиляция отсасывающей трубы.

6.2.4 Определение ожидаемых затрат и выгод

6.2.4.1 Основные положения

Как указывалось ранее, следует с осторожностью оценивать альтернативы, основываясь только на дополнительные выгоды и затраты. Это крайне важно при оценке эффекта увеличения или уменьшения объема различных вариантов ремонтных работ.

Примером может служить оценка эффекта увеличения или уменьшения объема срочных ремонтных работ. Например, оставшийся срок службы различного оборудования гидроэлектростанции, такого как турбины и генераторы, могут быть различными. Возможно, что турбина может удовлетворительно работать в течение дальнейших пяти лет до ремонта, в то время как генератор срочно нуждается в ремонте. Здесь важным является то, стоит ли отложить ремонт турбины до того времени, пока он не станет более необходимым. Поэтому есть по крайней мере два варианта для рассмотрения. Первый — это отремонтировать генератор как можно скорее, откладывая ремонт турбины, а второй — провести ремонт обоих элементов гидроэлектростанции одновременно. Основное преимущество первого варианта заключается в сокращении срочных капиталовложений, в то время как при проведении ремонта обоих компонентов одновременно, будет увеличена дальнейшая работоспособность. Стоимость и производительность устройства часто определяет, насколько близки варианты.

6.2.4.2 Капиталовложения

Капиталовложения включают следующие основные затраты:

- стоимость оборудования — включает в себя все прямые затраты на оборудование, материалы, а также стоимости конструкции, связанные с разборкой, установкой нового оборудования, тестированием и списанием старого оборудования,

- стоимость финансирования — включает в себя расходы на финансирование проекта, такие как процентная ставка, увеличение цены и другие, связанные с финансированием затраты;

- непредвиденные расходы — допуск на неточности в других оценках прямых затрат, а также различные и неожиданные затраты. Разброс непредвиденных расходов зависит от уровня уверенности в оценке прямых расходов.

6.2.4.3 Факторы, связанные с вложениями

Факторы, связанные с вложениями, включают обесценивание и ликвидационную стоимость, а также другие факторы, связанные с налогами, если они применимы в каждом конкретном случае.

6.2.4.4 Стоимость простоя

Прибыль возникает только тогда, когда станция вырабатывает энергию или нет затрат на вспомогательные службы. Если конструкция гидроэлектростанции и время проведения ремонтных работ позволят провести ремонт без сброса воды, то в этом случае не будет снижения в производстве энергии. Однако, если ремонтные работы проводятся после остановки гидроэлектростанции и прекращением выработки энергии (вынужденный простой), то будет наблюдаться потеря вырабатываемой мощности, а также будут понесены затраты на вспомогательные службы, которые будут проводить ремонтные работы (планируемый простой). Если имеется определенный предел установленной мощности, то потеря мощности во время проведения ремонтных работ может не привести к значительной потери доходов. Могут быть сезонные периоды, во время которых значение мощности является низким, или влияние потери мощности не является существенным. Чем более взаимосвязана энергосистема, тем более вероятно, что будут иметься затраты на потери, связанные с любым ремонтным проектом, даже там, где можно избежать сброса воды.

Стоимость простоя включает в себя:

- снижение прибыли во время ремонтного простоя (не выработка энергии включая потенциальный сброс);

- затраты на упущенные рыночные возможности (работа с пиковой нагрузкой и вспомогательные службы);
- потенциальная потеря приобретенных прав (обычно связанных с повторным лицензированием);
- другие затраты, связанные с предлагаемой альтернативой (снижение номинальных значений и т. д.).

6.2.4.5 Затраты на команду проектировщиков

При оценке стоимости проекта следует принимать во внимание затраты на офис и сотрудников при планировании, проектировании, изучении экологической обстановки, обеспечение качества установки и площадки, осмотр, пуско-наладочные работы, шеф-монтаж и затраты на обучение на площадке. Несмотря на то, что данный список включает не все, он определяет некоторые из затрат на команду проекта.

Требуются временные офисные помещения для размещения персонала на площадке во время проекта. Временные помещения включают офисные помещения, вспомогательный персонал, аренду, офисное оборудование, коммунальные службы, временные компьютеры и коммуникационную инфраструктуру и все другие затраты, необходимые на поддержание команды проекта. На удаленных площадках также могут потребоваться помещения для проживания персонала.

6.2.4.6 Продолжительность графика и влияние задержек на проект

Продолжительность графика проекта будет влиять на разные стороны экономической оценки. Не только общая продолжительность проекта и индивидуальная продолжительность простоев, но и (для станций с большим количеством устройств) порядок проведения последовательных простоев, могут значительно влиять на выгоды и затраты. Задержки, касающиеся установленного графика, будут влиять как на прямые, так и непрямые затраты, их объем будет зависеть от каждого конкретного случая. Они могут быть очень значительными, если затраты при простое станции являются большими.

6.2.5 Анализ чувствительности

В любом анализе с прогнозированием имеются неточности, поэтому необходимо определить чувствительность экономики проекта к изменениям в базовых предположениях. Анализ чувствительности должен включать любые параметры, где изменения будут значительно влиять на характеристики проекта. Типичными параметрами, которыми могут быть проанализированы на чувствительность, являются изменения в капиталовложениях, изменения продолжительности проекта ремонтных работ, ожидаемый прирост эффективности и стоимость энергии и другой прибыльной продукции.

Другие параметры чувствительности могут быть применимы для конкретного проекта. При этом следует оценить все значительные риски. Часто полезным является составить диаграмму анализа чувствительности для более четкого представления о тенденциях.

6.2.6 Заключительные положения

Положения, описанные в 6.2.1—6.2.5, представляют простой метод экономического и финансового анализа для проекта проведения ремонтных работ. Описанная процедура достаточна для оценки вариантов и должна способствовать выбору плана проведения ремонтных работ, наиболее подходящего для каждой конкретной гидроэлектростанции с экономических и финансовых точек зрения.

6.3 Анализ рисков

6.3.1 Основные положения

Анализ рисков обычно проводится в дополнение к общей экономической оценке, чтобы оправдать решение выполнять или не выполнять проект. В 6.3.6 описана процедура оценки объема проекта, что является необходимым условием для оценки рисков, связанных с проведением или не проведением ремонтных работ на станции. Риск обычно определяется как возможность возникновения события из-за связанных последствий. Поэтому действия, направленные на снижение любой возможности возникновения события, или затрат на его последствия, будут снижать финансовый риск. Затраты на оборудование и другие затраты, понесенные из-за снижения риска, могут быть сравнимы с затратами на снижение риска при сравнении альтернатив.

Анализ чувствительности в рамках анализа риска может проводиться с целью определения влияния определенных предположений или факторов альтернатив. В дополнение к значительному влиянию экономических факторов, оценка альтернатив затрагивает оценку возможности сбоя или того, когда сбой может произойти.

Типы рисков для анализа можно разделить на следующие категории, которые будут описываться отдельно:

- недостижение риска невыполнения;
- повреждения из-за опасности риска;
- увеличение риска простоя;

- финансовый риск;
- другой риск.

Как только будут определены и установлены факторы риска, следует определить, составлен ли план ремонтных работ таким образом, чтобы минимизировать последствия, и возможны ли следующие действия:

- можно ли изменить проектный план, чтобы избежать, уменьшить или устранить риск;
- существуют ли возможности для смягчения или уменьшения последствий нежелательного риска;
- являются ли риски приемлемыми или может ли быть предусмотрено их влияние запасным допуском на средства, время, ресурсы и т. д.

Как и другие аспекты проекта, риски следует определять и наблюдать на протяжении всего проекта, чтобы обеспечить эффективное управление. Меры по определению и наблюдению рабочих характеристик (таких как стоимость проекта и графики) будут определять то, когда следует применять план действий в чрезвычайных ситуациях.

6.3.2 Риски, связанные с недостижением заданных характеристик при ремонтно-восстановительных работах

Ремонтные работы имеют много рисков, связанных с возможностью того, что подрядчик не обеспечит достижение значений гарантированных характеристик, включая, например, увеличение мощности, увеличение эффективности, пределы гидравлической нестабильности и пределы кавитационного разрушения. Обычно влияние затрат при не получении ожидаемых характеристик распространяется на весь срок службы оборудования. Владелец может попытаться возвратить данные затраты с помощью гарантийных условий или условий о возмещенных убытках в контрактах, подписанных с подрядчиками.

Владелец может выбрать несколько мер для снижения данных рисков. Требование о том, что проект оборудования приведет к указанным или гарантированным характеристикам может снизить их до не достижения. Использование вычислительной гидродинамики и моделирующих тестов может обеспечить уверенность в том, что будут достигнуты ожидаемые рабочие характеристики (за увеличенную стоимость). Обязательное составление графика для тестирования прототипа до и после ремонта не позволяет использовать его для снижения рисков владельца, связанных с рабочими характеристиками. Потенциальное использование вычислительной гидродинамики и различных моделей или тестирований прототипа обсуждаются повсеместно в данном руководстве.

6.3.3 Риск продолжения работы без проведения ремонтных работ

Одной из целей проведения ремонта турбины является улучшение надежности устройства. Очень важно предусмотреть вариант «не ремонтировать» в оценку рисков. Во время ранней фазы оценки проекта, следует определить риски, связанные с не проведением ремонтных работ, такие как катастрофический сбой компоненты, вызывающий основные повреждения и продолжительный не планируемый простой. Оценка данного типа и величины рисков, связанных с вариантом «не ремонтировать», должна использовать тот же самый подход, что и для оценки рисков каждого варианта, предусматривающего ремонт.

Риски, связанные с повреждением или сбоем, могут быть незначительными, например, необходимость установки новой запасной части, или могут быть более значительными, включая катастрофический сбой или угрозу персоналу. Условие, которое считается критическим, и потенциально ведет к новому сбою или сбою с определяемыми последствиями или определяемой угрозой персоналу должно являться основой незамедлительного проведения ремонтных работ.

Эта оценка включает в себя следующие затраты, связанные с альтернативой без проведения ремонта:

- потери энергии из-за нарушения эффективности;
- потери прибыли из-за вынужденных простоев и непредусмотренного времени нахождения в ремонте;
- увеличенные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание, включая дополнительные затраты на осмотр для технического обслуживания станции;
- увеличение страховых премий.

При не замене любого компонента с дефектом имеется большой риск сбоя и связанных с ним затрат. Это можно высчитать путем оценки количества лет до того момента, когда с компонентом произойдет значительный сбой, приводящий к значительной потере производительности.

6.3.4 Увеличение риска простоя

Альтернативы проведения ремонтных работ имеют планируемое время простоя, которое заносится в график, плюс потенциал для увеличения риска простоя за пределы планируемого. Вероятность увеличения

планируемого времени простоя для ремонта выше, чем для нового строительства из-за возможности обнаружения оборудования, которое следует отремонтировать или заменить, так как оно подлежит разборке во время строительной фазы проекта.

Вариант не проведения ремонтных работ имеет возможность сбоя оборудования, что приводит к обширному простою, покрывающему проектирование, изготовление и монтаж не только узла, который со сбоем, но и возможно много других узлов или оборудования, и даже, возможно, структур. Более того, период простоя, вызванный сбоем оборудования, может произойти в критическое время года, когда затраты не поставку энергии являются максимальными.

6.3.5 Финансовые риски

Примерами финансовых рисков являются:

- риск и влияние текущего повышения цен, не совпадающего с предполагаемой нормой повышения при планировании;

- риск и влияние текущей процентной ставки, не совпадающей с предполагаемой;

- риск, что нормы по энергии и мощности, с которых высчитывается будущая прибыль и с которых высчитываются убытки во время ремонтных работ, отличаются от предполагаемых величин;

- финансовые риски, включая затраты на покупку замены энергии во время ремонта;

- риск обмена валюты, если применим.

В дополнение к оценке финансовых рисков, основанных на оценке каждого компонента, предусмотрительно также оценить чувствительность экономики проекта к предположениям, сделанным при финансовом анализе. Также у многих владельцев имеются предварительно установленные значения для всех финансовых параметров, которые будут использоваться при оценке проекта.

6.3.6 Риск объема проекта

Большая часть финансового риска и продолжительности риска простоя уже входят в состав этапа планирования проекта.

При планировании ремонтных работ в зависимости от сложности устройства возникают риски, связанные с потенциальным увеличением объема ремонтных работ. Проблемы, обнаруженные после разборки и осмотра устройства, могут привести к трудоемкой незапланированной и не включенной в бюджет работе.

При определении объема проекта могут быть использованы два подхода:

- по условиям контракта, который определяет ожидаемый объем, разобрать и осмотреть все компоненты, а также выполнить необходимый ремонт, в соответствии с рекомендациями инженера. Это возможно и обычно ведет к изменениям объема;

- планирование заранее замены всех сомнительных компонентов новыми частями.

Если предпринимаются попытки сократить первоначальный бюджет и имеется, по причинам гидрологии станции, комфортное планируемое время на ремонт, обычно используется первый подход, однако он обычно создает большой риск изменения объема.

Если время на ремонт находится в строго определенных рамках, то обычно используется второй поход для снижения рисков, связанных с незапланированной продолжительностью времени простоя. В станции с большим количеством устройств этот поход можно взять за основу, а затем, комбинируя оба подхода, можно разработать план ремонта для конкретных устройств.

При определении объема работ перед периодом простоя, имеется риск того, что объем ремонтных работ на данной части был недооценен. Возможно, большим риском является то, что будут обнаружены узлы в критическом состоянии, которые потребуют замены при ремонте. Решение обеих этих проблем заключается в выполнении реалистичного планирования, которое включает некоторую «плавучесть» в графике и в обеспечении запасных вариантов, которые можно было бы предоставить для новой конструкции. Уровень запасных вариантов будет зависеть от того, как много компонентов планируется для замены новыми компонентами, насколько хорошими являются записи, касающиеся состояния машины и насколько тщательный осмотр возможен перед разбором устройства.

6.3.7 Другие риски

Следует также оценивать другие риски, такие как риски человеческой безопасности и экологические риски.

Риски человеческой безопасности включают возможность ранений или потерю жизни во время выполнения ремонта, или риск соответствующих потерь в результате не выполнения ремонта.

Риски нанесения вреда экологии (в том числе рыбному хозяйству) из-за гидроэлектростанции могут возникать вследствие:

- планируемых или случайных изменений потока, вызванных простоем для проведения ремонта или во время эксплуатации после ремонта;
- планируемых или случайных изменений уровня водохранилища, вызванных простоем для ремонта или во время эксплуатации во время ремонта;
- загрязнение стока, например, смазочным маслом, во время простоя или во время эксплуатации.

Однако продолжительный период простоя может предоставить возможность проведения экологических программ, таких как повышение качества воды и улучшение потока реки. Работы по защите берегов и экологические усовершенствования могут также следовать из ремонтных работ, например, когда турбина заменяется турбиной, спроектированной для защиты рыбного хозяйства.

Отремонтированное устройство может иметь положительное или отрицательное воздействие на окружающую среду, в зависимости от проводимых изменений. В общем, менее агрессивный подход с точки зрения окружающей среды с целью повышения выработки энергии является единственным, не изменяющим сток. Выгода затем формируется из увеличения производительности и увеличения соответствующей мощности существующих устройств.

7 Оценка и определение объема работ

7.1 Общие положения

В настоящем разделе представлены основные элементы, которые должны рассматриваться во время оценки турбины и вспомогательного оборудования и которые могут повлиять, или на которые может повлиять ремонт турбины, а так же работы, направленные на улучшение технических характеристик. Полная оценка включает следующее:

- оценка места;
- оценка турбины;
- оценка взаимосвязанного оборудования.

7.2 Оценка места

7.2.1 Гидрология

Оптимальная эксплуатация гидроэлектрической станции зависит не только от эффективности турбины, но также и от лучшего использования потока и устья. Условия, преобладающие во время сооружения станции, могли измениться за несколько лет. Гидравлический потенциал места и его рабочий режим следует пересмотреть, принимая во внимание текущие условия.

Увеличение эффективности турбины обычно не влияет на режим работы станции. Однако сочетание увеличения мощности и эффективности может привести к изменениям рабочего режима установки, снижая фактор утилизации и увеличивая производство энергии с потенциальными эффектами на окружающую среду.

Основными вопросами, которые следует рассмотреть, являются:

- есть ли возможность изменить поток;
- есть ли новые ограничения или возможности с уровнями верхнего бьефа или нижнего бьефа, которые могут повлечь за собой изменения напора на турбинах или на станции;
- есть ли новые ограничения или возможности в рабочем режиме из-за экологических или социальных соображений.

Для надежного статистического анализа потенциальных будущих прогнозов необходимы записи за 25 лет и более. Мониторинг места гидрологии, то есть средние почасовые, понедельные и помесячные потоки во времени, должен проводиться в период длительной работы станции.

Если данная информация недоступна непосредственно через измерения, ее можно вычислить из данных по выработке энергии, записей подъема воды верхнего и нижнего бьефов или измеряемых потерь вне турбины и измеряемой или предполагаемой эффективности турбины и генератора, принимая во внимания сбросы воды в водосбросных сооружениях. Следует осторожно применять «предполагаемые» факторы эффективности. Они будут основываться на оригинальной информации производителя или ранних тес-

тах в отношении изменений состояния машины. Эта информация вместе со связью с прилагающими гидравлическими системами может использоваться для определения того, были ли изменения в гидрологии на месте или в гидравлических параметрах гидростанции.

Изменения в гидравлических параметрах или в предполагаемом рабочем режиме станции могут изменить номинальные условия турбины и повлиять на выбор лучшего решения для проведения ремонта турбины или улучшения ее характеристик.

7.2.2 Актуальные данные по выработке энергии

Существующая информация по годовой выработке энергии на гидроэлектростанции предоставляет заказчику основную информацию, из которой он может оценить стоимость любых потенциальных усовершенствований оборудования станции. Если доступны независимые источники гидрологической информации, информация о выработке энергии также предоставляет возможность определения тенденции к износу. Если такие источники гидрологической информации не доступны предыдущие записи о сбросе воды на месте и приблизительная информация о характеристиках существующего оборудования позволяет составить историю гидрологии установки с потенциальной точностью ± 5 %. Этот метод практически так же хорош, как и большинство доступных методов определения гидрологии на месте. Для максимальной пользы записи о выработке энергии должны быть получены для каждого изучаемого устройства для самого долгого периода записи — более 25 лет назад, но не менее 10 лет. Когда период записей короткий, точность будет менее 5 %.

Доступная информация должна быть собрана за период времени записей и любые тенденции должны быть рассмотрены и объяснены.

Причины изменений могут включать ухудшение рабочих характеристик оборудования, изменения в рабочей философии и управлении водой и во влиянии вынужденных периодов простоя, относящихся к надежности оборудования. Следует не преувеличивать краткосрочные тренды или события. Если в самом деле снижение эффективности оборудования является основной причиной или тенденцией, ее можно подтвердить путем сравнения настоящей и первоначальной кривых коэффициента полезного действия, когда будет доступна данная информация.

Часто значительных увеличений выработки энергии можно добиться путем улучшения управления водохранилищем. Несмотря на то, что данный аспект не рассматривается в настоящем стандарте, он является частью любого исследования о целесообразности проведения ремонтных работ.

7.2.3 Проблемы охраны окружающей среды, социальные и нормативные вопросы

Проблемы окружающей среды, социальные и нормативные вопросы также определяют условия для работы станции. Эти условия предназначены для определения правил использования воды путем урегулирования экологических, социальных и экономических вопросов использования воды. Некоторые из вопросов, освещенных в настоящем стандарте, перечислены ниже:

- требования к минимальному потоку;
- ограничения изменений уровня верхнего или нижнего бьефов;
- допускаемая норма изменения потоков (линейные нормы);
- рыбы и дикая фауна;
- пределы содержания растворенного газа;
- обводные потоки;
- домашние водные/ирригационные потоки;
- потоки, генерирующие электрическую энергию.

Если было принято решение провести ремонтные работы на станции только с целью повышения эффективности, потоки будут такими же, а поэтому будут применяться те же правила. Однако увеличение производительности сверх производительности, возникающей вследствие увеличения эффективности, будет приводить к большему использованию воды или изменению режимов потока во время эксплуатации станции. Эти изменения могут привести к возникновению новых требований, и даже без изменений в использовании воды, могут быть установлены новые требования.

Возможность новых требований в отношении управления водой следует тщательно рассмотреть в начале любого проекта проведения ремонтных работ для определения их влияния, если оно есть, на работу, а соответственно, на прибыль от отремонтированного предприятия.

7.3 Оценка турбины

7.3.1 Основные положения

Цель процесса оценки иметь под рукой, после заключения, всю необходимую информацию для определения экономической выгоды продолжения ремонта турбины, чтобы гарантировать ее надежность или чтобы продлить срок ее службы и/или снизить эксплуатационные затраты, либо чтобы улучшить ее характеристики.

Имеется два основных аспекты при оценке существующей турбины:

- целостность или механические повреждения турбины, которые следует оценить с помощью детального визуального осмотра и измерения или испытания без разрушений;

- рабочие характеристики турбины, которые следует оценивать с помощью тщательного анализа записей о работе и условий доступа к реальным возможностям улучшения характеристик. Это относится к:

1) эффективности;

2) выходной мощности;

3) проблемам механической вибрации;

4) гидравлической стабильности;

5) проблемам с кавитационной эрозией;

6) рабочим условиям и ограничениями.

В таблицах 2—23 описаны аспекты, которые следует рассмотреть при оценке существующей турбины, в формате контрольного листа, для каждого компонента. Они представлены под заголовком «аспекты к рассмотрению», «возможные причины» и «возможные действия».

При оценке существующей турбины следует рассмотреть следующие встроенные части турбины:

- статорное кольцо (см. таблицу 2);
- спиральная или полуспиральная камера (см. таблицу 3);
- опорное кольцо (см. таблицу 4);
- отсасывающая труба (см. таблицу 5).

При оценке существующей турбины следует рассмотреть следующие не вращающиеся части, не встроенные в турбины:

- крышка турбины (см. таблицу 6);
- промежуточное кольцо и камера рабочего колеса (см. таблицу 7);
- нижнее кольцо направляющего аппарата (см. таблицу 8);
- лопатки направляющего аппарата (см. таблицу 9);
- приводной механизм лопаток направляющего аппарата (см. таблицу 10);
- регулирующее кольцо (см. таблицу 11);
- серводвигатели (см. таблицу 12);
- подшипники лопаток направляющего аппарата (см. таблицу 13);
- сальниковое уплотнение вала турбины (см. таблицу 14);
- опора осевого подшипника (см. таблицу 15);
- форсунки (см. таблицу 16);
- отражатели и рассеивание энергии (см. таблицу 17).

При оценке существующей турбины следует рассмотреть следующие вращающиеся части турбины:

- рабочее колесо (см. таблицу 18);
- вал турбины (см. таблицу 19);
- маслоприемник и штанги (см. таблицу 20).

При оценке существующей турбины следует рассмотреть следующие вспомогательные части турбины:

- система регулирования нагрузки (регулятор) (см. таблицу 21);
- система вентилирования турбины (см. таблицу 22);
- система смазки (механизма направляющих лопастей) (см. таблицу 23).

Некоторые таблицы относятся ко всем типам турбин, в то время как другие — только к определенному типу турбин, что указано в заголовках таблиц. Некоторые части таблиц попадают более, чем под одну категорию, но для ясности, они описываются для одной категории турбин. Например, некоторые части могут быть встроенными или не встроенными, в зависимости от конструкции.

Детальное обсуждение наиболее соответствующих аспектов, касающихся оценки механической целостности и улучшения рабочих характеристик турбины приводится в таблицах.

Таблица 2 — Статорное кольцо (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины в статорных колоннах	Вибрация Деформации из-за щелочного заполнителя в бетоне Сниженная структурная целостность, вызванная эрозией или коррозией Слабая структурная мощность из-за плохой конструкции или производственного дефекта Дефект материала	Запрос о предыдущих ремонтах (количество и частота) Полный визуальный осмотр Осмотр NDT в статорной колонне и соединениях кожуха Материал, поток и анализ напряжения Ремонт сваркой
Эрозия частиц	Плохой профиль статорных колонн Абразивные частицы в воде	Полный визуальный осмотр Запрос о предыдущих ремонтах (количество и частота) Сравнительный анализ с современной конструкцией Анализ потока Восстановление поверхности сваркой Изменение гидравлического профиля Применение защитного покрытия
Коррозия	Несоответствующее покрытие или потеря покрытия Агрессивные характеристики воды	Полный визуальный осмотр Пескоструйная очистка и соответствующее покрытие
Гидравлические потери	Плохой профиль статорных колонн Грубое покрытие поверхности	Анализ потока Сравнительный анализ с современными проектами Пескоструйная очистка/сглаживание Изменение гидравлического профиля и покраска
Просачивание через радиальные фланцы	Плохие условия радиальных фланцев из-за деформаций бетона Образование усталостных трещин на сварных швах, если болтовое соединение оригинальных фланцев не является адекватным	Изоляция или ремонтная сварка структуры

Таблица 3 — Спиральный или полуспиральный подвод (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины в области статорного кольца: в пластинах или сварных соединениях	Деформации вибрации из-за щелочного заполнителя в бетоне Сниженная структурная целостность, вызванная эрозией или коррозией Циклы герметизации/скачки давления/гидравлический резонанс (низкий, средний и высокий циклы)	Полный визуальный осмотр Осмотр NDT в спиральной камере/статорном кольце и других областях Анализ напряжения Запрос о предыдущих ремонтах (природа, количество и частота) Регулировка времени закрытия направляющего аппарата Ремонт сваркой
Изменение из-за реки	Коррозия	Ремонт сваркой Замена, где возможно
Изменения покрытия поверхности	Коррозия Микро-организмы Усоногие раки Несоответствующее покрытие или его потеря	Пескоструйная очистка и соответствующее покрытие

Окончание таблицы 3

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Изменение поверхности	Плохое качество бетона (общее или локальное)	Ремонт бетона
Изменения толщины стен	Абразивные частицы в воде Совместные эффекты коррозии и эрозии	Измерения толщины плиты Анализ напряжения Применение покрытия, устойчивого к коррозии Изменения направляющих лопаток или изменение характеристик устройства или оба варианта Укрепление спиральной камеры
Протечка затвора или неисправная работа затвора	Коррозия Уплотнение затвора и дефект поверхности фланца Регулирование затвора Дефект шарниров Износ втулки	Полный визуальный осмотр изолирующих поверхностей Замена уплотнения Новая конструкция уплотнения Ремонт изолирующих поверхностей Замена или ремонт втулок шарниров и/или штифтов Изменения конструкции шарниров

Таблица 4 — Опорное кольцо (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Плохая конструкция Производственный дефект Изменение давления Трение рабочего колеса и опорного кольца Ремонт несоответствующей сварки	Полный визуальный осмотр и NDT Анализ напряжения Ремонт сваркой Укрепление опорного кольца Вентиляция (радиально-осевая) Выравнивание устройства и балансировка
Утечка воды	Дефект сборки Плохая конструкция Ослабленные болты	Визуальный осмотр Проверка болтов Ремонт или замена разгрузочного кольца
Дефект циркуляции	Деформации подструктуры из-за щелочного заполнителя в бетоне	Измерить циркуляцию и расстояния между лопастями Проверить выравнивание устройства Воздействие на бетонную подструктуру Повторная установка расстояния между лопастями
Деформация опорного кольца, невыравнивание или наклон (Опора нижнего кольца для радиально-осевых турбин)	Дефект сборки Деформация бетона из-за щелочного заполнителя	Измерить осевое положение рабочего колеса (радиально-осевое) по отношению к опорному кольцу Тщательный осмотр устройства, повторная сборка и повторное выравнивание
Аномальная вода	Трение рабочего колеса о внутреннюю стенку	Визуальный осмотр Проверка и изменение выравнивания устройства Проверка расстояния между лопастями рабочего колеса и внутренней стенкой
Коррозия	Агрессивная вода Несоответствующее покрытие	Пескоструйная очистка и соответствующее покрытие

Окончание таблицы 4

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Абразивный износ	Подвешенные абразивные частицы в воде Неверный выбор материала	Противоабразивное покрытие (металлизация или сварка) Ремонт или замена
Кавитационная эрозия	Рабочие условия Конструкция лопастей Расстояния между лопастями	Осмотр и нанесение на карту кавитационных областей Проверка расстояния между лопастями Проверка рабочих условий Ремонт поврежденной поверхности
Рабочие и экологические вопросы	Чрезмерное расстояние между лопастями	Переход к сферическому опорному кольцу

Таблица 5 — Отсасывающая труба (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Пустота за облицовкой отсасывающей трубы, облицовка, отсоединяющаяся от бетона	Изменения давления (вихри при частичной или высокой нагрузке) Деформация из-за щелочного наполнителя в бетоне Плохое начальное бетонирование и/или сбои с анкерами	Исследование молотком; нанесение на карту пустот Заливка цементом или эпоксидным клеем Дополнительные анкеры
Кавитационная эрозия	Несоответствующий материал или покрытие Длительная эксплуатация при нагрузках, больших по сравнению с заводскими гарантиями или отрывное обтекание Изменения в рабочем режиме станции Нарушения потока из-за плохого рабочего колеса или профиля лопаток направляющего аппарата	Полный визуальный осмотр Анализ потока Сравнительный анализ с современной конструкцией Толщина корпуса Восстановление поверхности Пескоструйная очистка и соответствующее покрытие Исключение кавитационной эрозии
Трещины	Отсоединение от анкеров и внешних ребер Изменения давление из-за вихрей при частичной или высокой нагрузке	Полный визуальный осмотр Запрос о предыдущих ремонтах (количество и частота) Измерения толщины облицовки Осмотр NDT в районе затвора и на соединении с опорным кольцом Замена секции или восстановление поверхности (сварка, грунтовка и повторная грунтовка)
Повреждение от коррозии и/или эрозии	Присутствие микроорганизмов катализирующих коррозию в воде Количество циклов погружения Агрессивная вода с и без электролитической коррозии из-за неблагоприятного сочетания материалов Содержание абразивных частиц в воде	Полный визуальный осмотр Измерение толщины облицовки Пескоструйная очистка и соответствующее покрытие Использование в конструкции коррозионного и противоэрозийного покрытия или облицовки в высокоскоростных областях
Недостаток эффективности или мощности в отношении номинальных величин	Плохая конструкция Новые рабочие условия (рабочие нагрузки или гидравлические режимы)	Анализ потока Сравнительный анализ с современной конструкцией Изменение стального/цементного профиля Изменения опорного кольца

Окончание таблицы 5

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Повреждения отсасывающей трубы и поверхности профиля	Разрушение цементного водотока из-за плохого качества цемента Абразивный износ и/или кавитационная эрозия цемента Поддерживаемая высокая эрозия (вторичные потоки)	Полный визуальный осмотр Исследование и нанесение на карту повреждений Изменение состава цемента Грунтовка цементов для достижения приемлемой непрерывности потока

Таблица 6 — Крышка турбины (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Гидравлические удары Изменения давлений и перепады давления Гидравлический резонанс (низкий, средний или высокий цикл износа) Деформация Дефектный материал или конструкция Высокое механическое напряжение	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Анализ напряжения Ремонт сваркой Укрепление крышки турбины Замена крышки турбины
Износ поверхности или облицовки	Абразивные частицы в воде Кавитационная эрозия Совместные эффекты коррозии и эрозии Щелевая кавитация (особый тип эрозии, производимый высокой скоростью прохождения воды через небольшое отверстие) Контакт с лопатками направляющего аппарата	Полный визуальный осмотр и проверка размеров Ремонт повврхности и механическая обработка Установка облицовочной пластины или ремонт Повторное выравнивание сборки Вертикальная регулировка направляющих лопаток
Трение крышки турбины и лопаток направляющего аппарата	Крышка турбины и/или не выравнивание нижнего кольца направляющего аппарата Незначительное расстояние между лопатками направляющего аппарата и крышкой турбины Искривление крышки турбины	Оценка риска неисправной работы направляющих лопаток путем испытания поворота лопаток Полный визуальный осмотр, поиск износа и/или задирания поверхности компонента Полная проверка размеров направляющих лопаток, выравнивание крышки турбины и опорного кольца Повторное выравнивание сборки Исправление износа поверхности крышки и механическая обработка Установка пластины или замена облицовки
Повреждение уплотнения верхнего обода рабочего колеса (лабиринт)	Нарушение центрирования крышки турбины Нарушение центрирования рабочего колеса Отклонения величины зазора Щелочной заполнитель в бетоне	Полный визуальный осмотр Центрирование кольца уплотнения Полная проверка размеров крышки турбины и центрирование рабочего колеса Механическая обработка уплотнения рабочего колеса (лабиринт) или его замена Замена крышки турбины Замена рабочего колеса
Неточность уровня	Дефект сборки Смещение электростанции Щелочной заполнитель в бетоне	Проверка установки крышки турбины Механическая обработка поверхности крышки (фланец стопорного кольца)

Окончание таблицы 6

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Плоская поверхность трения или пластина трения	Дефект сборки Неравномерный износ	Полная проверка размеров обработанной поверхности Механическая обработка поверхности крышки Установка пластины трения или замена Замена крышки турбины Повторная сборка устройства
Течь воды	Износ уплотнения вала или уплотняющих поверхностей	Замена уплотнения вала Восстановление уплотняющих поверхностей
Смазка, включая экологические вопросы	Нарушен подвод смазки Сбой системы распределения смазки Плохое распределение смазки Чрезмерное выделение смазки в окружающую среду Износ втулок (цапф) направляющих лопаток	Полный визуальный осмотр покрытия и системы смазки втулки Замена втулки направляющей лопатки Установка самосмазывающихся втулок Изменение системы смазки, ремонт, перепрограммирование или устранение
Слабые или сломанные болты	Дефект сборки Деформация покрытия Плохой выбор материала или недостаток доверия к указанному материалу Проблемы с управлением качества во время изготовления и монтажа Чрезмерное конструкционное напряжение Аномальные изменения давления Гидравлический резонанс (низкий, средний или высокий цикл нагрузки износа)	Полный визуальный осмотр фланца и болтов, если возможен NDT Замена болтов Анализ потока Изменение природной частоты покрытия Улучшение вентиляции турбины Изменение количества и размера болтов и/или их материала
Задержка воды (проблема дренажа)	Заблокированные или недостаточные дренажные отверстия Недостаточная дренажная мощность Неисправность дренажных труб Слишком большие утечки в уплотнении вала турбины и/или в уплотнении направляющей лопатки	Полный визуальный осмотр Запрос о прошлых проблемах Очистка дренажных отверстия и труб Ремонт дренажного насоса (эжектора) или замена Изменение конструкции дренажной системы Замена уплотнения вала или уплотнений направляющих лопаток
Платформы доступа для эксплуатации	Плохая конструкция Новые требования к эксплуатации или защите	Сравнительный анализ с современной конструкцией Изменение конструкции покрытия Замена покрытия
Проблемы с направляющим подшипником турбины	Износ направляющих планок Большое трение	Замена направляющих планок или переход к самосмазывающимся материалам
Износ втулки направляющей лопатки	Нарушение центрирования нижнего кольца направляющего аппарата и крышки турбины Проблемы со смазкой Износ из-за долгого или экстремального срока службы	Полный визуальный осмотр Повторное выравнивание устройства Замена втулки или переход к самосмазывающимся материалам Изменение системы смазки, ремонт, перепрограммирование или устранение

Таблица 7 — Промежуточное кольцо и камера рабочего колеса (применимо к поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Неисправность конструкции Плохой материал или неправильный выбор материала Аномальные изменения давления, резкое повышение давления Всплытие рабочего колеса во время переходных процессов Попадание инородных объектов в водоток	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Анализ напряжения Ремонт сваркой Укрепление Замена Проверка расстояния между рабочим колесом и внутренним покрытием
Течь воды	Неисправность сборки Плохая конструкция Ослабленные болты	Визуальный осмотр Проверка болтов Замена изоляции шарниров и/или восстановление изоляционной поверхности
Эрозия гидравлической поверхности	Абразивные частицы в воде Неравномерность гидравлической поверхности	Визуальный осмотр и нанесение дефектов на карту.Сварочный слой на поврежденных поверхностях Устранение гидравлической неравномерности
Ослабленные или сломанные болты	Проблема со сборкой Неправильный выбор материала или некачественный материал Недостаточное вращение болта Ослабление вибрации болтов	Визуальный осмотр прилегания фланцев Подтверждение теоретической нагрузки болтов, материала и вращения Измерение вибраций и изменений давления
Дренажная проблема	Заблокированные или недостаточные дренажные отверстия Неисправность дренажных труб Большое протекание изоляции основного вала и/или приводящих лопастей Недостаточная дренажная мощность	Осмотр изоляции турникета, изоляции вала и покрывающих фланцев покрытия Очистка дренажных труб Замена или ремонт дренажного насоса или редуктора Изменение дренажной системы Замена изоляции турникета, изоляции вала и покрывающих фланцев покрытия
Проблема доступа	Плохая конструкция Новые требования к эксплуатации или защите	Сравнение с современной конструкцией Изменения Замена

Таблица 8 — Нижнее кольцо направляющего аппарата (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Повреждение облицовки	Абразивный осадок в воде Кавитационная эрозия Щелевая кавитация Контакт с лопатками направляющего аппарата	Полный визуальный осмотр и проверка размеров Ремонт поверхности и механическая обработка Монтаж облицовочной пластины или замена облицовки Повторное выравнивание сборки Регулировка вертикального положения приводящей лопасти
Вмешательство в работу лопаток направляющего аппарата	Нарушение центрирования крышки турбины и/или, нижнего кольца направляющего аппарата Недостаточное расстояние между, нижним кольцом направляющего аппарата и направляющими лопатками	Полный визуальный осмотр Полная проверка размеров приводящих лопастей, нижнего кольца направляющего аппарата или выравнивание покрытия Повторное выравнивание сборки Ремонт поверхности и механическая обработка Монтаж облицовочной пластины или замена

Окончание таблицы 8

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Повреждения уплотнения нижнего обода рабочего колеса (лабиринта) радиально-осевых турбин	Нарушение центровки нижнего кольца направляющего аппарата Нарушение центровки рабочего колеса Несоответствующие зазоры в конструкции Деформация, нижнего кольца направляющего аппарата из-за щелочного заполнителя в бетоне	Полный визуальный осмотр Изменения зазоров Полная проверка размеров нижнего кольца направляющего аппарата и центрирование рабочего колеса Обработка уплотнений рабочего колеса (лабиринт) или замена Замена нижнего кольца направляющего аппарата
Неточность уровня	Проблемная сборка Нестабильность размеров электростанции Щелочной наполнитель в бетоне	Полная проверка размеров нижнего кольца направляющего аппарата и основания Механическая обработка опорной поверхности нижнего кольца направляющего аппарата
Плоскость облицовочной пластины	Проблемная сборка Износ Искривление	Полная проверка размеров обработанных поверхностей Механическая обработка нижнего кольца направляющего аппарата Замена нижнего кольца направляющего аппарата Повторная сборка устройства Монтаж облицовочной пластины или замена
Течь воды	Повреждение уплотнения или повреждения уплотняющих поверхностей	Замена уплотнения Восстановление уплотняющих поверхностей
Проблемы смазки нижней цапфы направляющей лопатки, включая экологические вопросы	Нарушенная подача смазки Плохая конструкция распределительных желобов смазки Неисправность системы распределения смазки Чрезмерное выделение смазки в окружающую среду Износ втулки (цапфы)	Полный визуальный осмотр втулок нижнего кольца направляющего аппарата и их системы смазки Замена цапфы направляющей лопатки Монтаж самосмазывающихся втулок направляющих лопаток Изменение системы смазки, ремонт или перепрограммирование
Ослабленные или сломанные болты	Проблемная сборка Деформация нижнего кольца направляющего аппарата Неправильный выбор материалов для болтов или плохие материалы	Полный визуальный осмотр болтов Изменение количества, материала или размера болтов Замена болтов
Износ втулки лопатки направляющего аппарата	Нарушение центровки нижнего кольца направляющего аппарата или крышки турбины Проблемы со смазкой Чрезмерный срок службы или возраст Щелочной заполнитель в бетоне	Полный визуальный осмотр Полная проверка размеров нижнего кольца направляющего аппарата и центрирование крышки турбины Повторная сборка устройства и повторное выравнивание Замена втулки или использование самосмазывающихся материалов Изменение системы смазки, ремонт или перепрограммирование

Таблица 9 — Лопатки направляющего аппарата (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Вибрация Сниженная структурная целостность, вызванная частицами или кавитационная эрозия Дефекты материала, конструкции или производства Чрезмерная случайная нагрузка	Запрос о предыдущих ремонтах (природа, норма и частота) Полный визуальный осмотр и проверка NDT Анализ напряжения и материала Ремонт сваркой Повторная механическая обработка Замена
Деформация	Дефекты материала, конструкции или производства Исключительная случайная нагрузка из-за осколков Неадекватность или неисправность защитных устройств	Полная проверка размеров Замена Проверка или изменение или замена защитных устройств Ремонт или замена сороудерживающих решеток
Кавитационная эрозия	Форма профиля направляющих лопаток Работа при аномальных условиях Значительные изменения в работе гидростанции или условий обтекания лопаток	Полный визуальный осмотр Запрос о предыдущих ремонтах (количество и частота) Анализ материала и потока Сравнительный анализ с современной конструкцией Восстановление поверхности сваркой Изменения Замена
Коррозия	Несоответствующее покрытие Агрессивная вода с или без электролитической коррозии из-за неправильного сочетания материалов	Очистка струей песка/разглаживание Более подходящее покрытие Замена более подходящим материалом
Абразивная эрозия	Абразивный осадок в воде	Восстановление поверхности сваркой Нанесение стойкого к абразиву материала (сварка, металлизация) Замена более подходящим материалом
Контактный износ (трение на покрытии и/или на нижнем кольце направляющего аппарата)	Плохое выравнивание при сборке Неправильный выбор комбинации материалов Недостаточные зазоры Попадание инородных частиц Щелочной заполнитель в бетоне	Визуальный осмотр и проверка размеров приводящих лопастей и сборка распределителя Восстановление поверхности сваркой Использование противоизносных материалов Разборка устройства, регулировка и повторная сборка Исследование и, если возможно, извлечение инородных частиц
Обтекание профиля потоком	Плохой гидравлический профиль Неравномерное угловое положение направляющих лопастей Несоответствующее максимальное открытие направляющих лопастей	Анализ потока Сравнительный анализ с современными конструкциями Изменение профиля Замена Проверка и регулирование механизма поворота лопаток направляющего аппарата

Окончание таблицы 9

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Износ цапфы	Неисправность системы смазки абразивный осадок Коррозия Неправильный выбор сочетания материалов	Полный визуальный осмотр Новые втулки из нержавеющей стали или механическая обработка цапфы из нержавеющей стали Замена направляющих лопаток Замена втулок со смазкой самосмазывающимися втулками Изменение системы смазки, ремонт или перепрограммирование
Плохое уплотнение направляющих лопаток на торцах и контактных поверхностях соседних лопаток при закрытом направляющем аппарате	Износ/эрозия на контактных поверхностях Промежуток между уплотняющими поверхностями соседних лопаток при закрытии (плохая регулировка) Эрозия или щелевая кавитация в зазоре между направляющими лопатками и/или (эрозия, вызванная высокой скоростью воды, проходящей через маленькое отверстие) Недостаточное контактное давление при закрытии Неправильный первоначальный выбор материалов	Измерение расстояния Ремонт контактных поверхностей Ремонт покрытия, нижнего кольца направляющего аппарата или цапф направляющих лопаток Регулировка механизма поворота лопаток направляющего аппарата Регулировка натяга серводвигателя в закрытом положении (сжатии) Замена направляющей лопатки с возможным ремонтом покрытия/нижнего кольца направляющего аппарата
Вибрация	Нарушение допусков сборки Неисправность профиля	Полная проверка размеров и условий работы механизма поворота лопаток направляющего аппарата Изменение механизма поворота лопаток направляющего аппарата или ремонт Анализ потока Изменение формы профиля Замена

Таблица 10 — Механизм поворота лопаток направляющего аппарата (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины и деформация	Чрезмерная нагрузка из-за трения или неправильной регулировки Отклонение расположения поверхности элементов механизма (серводвигателей к регулирующему кольцу или регулирующего кольца к элементам механизма поворота) Отказ некоторых срезных штифтов или других ограничивающих нагрузку устройств или неисправность системы фрикционной передачи Увеличение рабочего давления в серводвигателе сверх предельного Плохой материал или конструкция	Полный визуальный осмотр и проверка размеров Осмотр NDT Тест на трение рабочего механизма Расчет напряжения и анализ Замена втулки или переход на самосмазывающиеся втулки Проверка регулировки и исправление Механическая обработка Применение соответствующего покрытия
Повреждение поверхностей	Коррозия деталей механизма поворота лопаток направляющего аппарата и выравнивающих пластин	Полный визуальный осмотр Очистка песком и окраска
Чрезмерный зазор в соединяемых компонентах	Износ втулки	Замена втулки или изменения самосмазывающихся подшипников

Окончание таблицы 10

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трудности с регулированием	Цапфа приводящей лопасти или износ втулки Плохое выравнивание/соединение цапфы направляющей конструкции или износ втулки Проблема доступа Конструкция механизма	Полная оценка механизма приводящих лопастей Изменения системы блокировки штифтов Применение противозадирного покрытия Осмотр элементов конструкции и их усовершенствование
Повторные неисправности резных штифтов	Регулировка направляющих лопаток и серводвигателя Конструкция срезных штифтов Конструкция системы ограничения поворота направляющих лопаток при поломке срезных штифтов Проблемы с втулками направляющих лопаток Контакт с покрытием и/или башмачным кольцом	Запрос, касающийся частоты, расположения и причины сбоев Анализ напряжения Изменения конструкции срезных штифтов Изменения системы ограничения поворота направляющих лопаток при поломке срезных штифтов Регулировка лопаток направляющего аппарата, регулирующего кольца и серводвигателя Восстановление втулок направляющих лопаток или применение самосмазывающихся втулок
Смазка, включая проблемы окружающей среды	Нарушенная подача смазки Неисправность системы распределения смазки Износ втулки Большое количество смазки поступает в окружающую среду	Полный визуальный осмотр Полная чистка трубок и отверстий, включая центральные отверстия в цапфах приводящих лопастей и любые проточки внутри направляющих лопаток Устранение существующей системы смазки и переход к самосмазывающимся втулкам Изменение, ремонт и перепрограммирование
Проблема с системой обнаружения неисправностей срезных штифтов	Электрическая проблема Устаревшая система обнаружения/плохая конструкция для влажных условий	Осмотр конструкции системы определения Модернизация или замена системы обнаружения неисправности штифтов

Таблица 11 — Регулирующее кольцо направляющего аппарата (применимо к радиально-осевым турбинам, турбинам Каплана и пропеллерным турбинам с неподвижной лопастью)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины и деформация	Аномальная нагрузка из-за трения в цапфах направляющих лопаток Отклонение положения серводвигателей или рычагов механизма поворота лопаток направляющего аппарата Плохой материал или конструкция	Полный визуальный осмотр или проверка размеров Осмотр NDT Анализ напряжения Повторное выравнивание серводвигателей Замена изношенных тяг серводвигателей, соединенных с регулирующим кольцом и выравнивание рабочей системы

Окончание таблицы 11

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Аномальный износ	Недостаток смазки Неисправность элементов механизма поворота или износ тяг регулирующего кольца Загрязнение поверхности подшипника направляющей лопатки инородными материалами Отклонение расположения серводвигателей или выравнивающих пластин	Полный визуальный осмотр Проверка системы смазки Замена соединительных втулок или изношенных тяг регулирующего кольца Улучшение фильтрации жидкости Повторное выравнивание серводвигателей Замена изношенных тяг серводвигателей, соединенных с регулирующим кольцом и повторное выравнивание регулирующего кольца

Таблица 12 — Серводвигатели (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Течь масла	Дефектные или изношенные уплотнения Износ втулок Износ штока серводвигателя или шероховатости из-за загрязнения маслом	Полный визуальный осмотр Тест на течь Замена уплотнений Восстановление стержня Повторное хромирование стержня Замена стержня Замена втулки Восстановление или замена серводвигателя
Выравнивание	Неправильное соединение болтами Плоскость поверхности подошвы или выравнивание Износ опорных тросов рабочего кольца Нестабильность цемента, влияющая на выравнивание рабочего кольца серводвигателя	Проверка выравнивания серводвигателя Повторное выравнивание серводвигателя/подошвы Замена опорных тросов рабочего кольца и выравнивание вертикального положения
Несоответствующие рабочие силы	Проблемы с трубами Проблема с регулятором/гидравликой Износ цилиндра серводвигателя или поршневого кольца (чрезмерная течь мимо поршня) Заклинивание серводвигателя из-за чрезмерного износа втулки или не выравнивания	Тест на течь поршневого кольца Замена поршневого кольца Восстановление поршня/поршневого прутка Обточка цилиндра и/или машинная обработка Замена втулки Восстановление системы регулятора/гидравлики Выравнивание рабочей системы
Проблемы с регулировкой предварительного напряжения привода (закрытое положение «сжатие»)	Повреждение изоляционной линии привода Плохая система рычагов/блокировки соединительных эксцентриковых штифтов (потеря равномерного закрытия всех приводящих лопастей) Плохой и/или плохо отрегулированный индикатор положения серводвигателя Низкое давление масла Плохая конструкция система регулировки предварительного напряжения/ограничения хода	Контактная поверхность приводящей лопасти и восстановление изоляционной линии Регулировка предварительного напряжения/системы ограничения хода и регулировка изменений процесса Изменение системы блокировки рычага/эксцентриковых штифтов Восстановление серводвигателя Замена серводвигателя Восстановление системы регулятора/гидравлики

Окончание таблицы 12

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Проблемы с системой блокировки серводвигателя и вопросы безопасности	Плохая конструкция системы блокировки Изменения в максимальном открытии приводящих лопастей Износ или повреждение частей	Полный визуальный осмотр Полное восстановление или замена системы блокировки Изменение конструкции системы блокировки Замена серводвигателей новой системой блокировки

Таблица 13 — Приводящие подшипники (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Утечка масла	Повреждение прокладки маслосборника/О-образного кольца Течь масла над верхом внутренней стенки маслосборника (на месте цапфы вала), вызванная переполнением одного или нескольких маслосборников Неравномерное расстояние между внутренней стенкой маслосборника и цапфой вала из-за не выравнивания или искривления внутренней стенки Чрезмерные повреждения или нестабильности потока масла в маслосборнике	Полный визуальный осмотр Замена прокладки маслосборника/О-образного кольца Регулировка уровня масла Осмотр и коррекция выравнивания прилегающих частей Вставление удерживающих колец масла/изоляций на внутренней стороне масляного наклона Изменения приводящего подшипника для стабилизации потока масла Ремонт внутреннего маслосборника (для удержания внутренней циркуляции масла) или замена
Присутствие воды и/или твердых частиц в масле	Течь соединителей подачи охлаждающей воды Конденсация Загрязненное масло Недостаточная или нечастая фильтрация масла Повреждения покраски Повреждение баббита	Тест масла на наличие воды и инородных частиц Ремонт соединения подачи воды Замена охлаждающей катушки Фильтрация масла Замена масла (всегда используйте фильтр во время заливки масла) Осмотр баббита Повторное нанесение баббита Очистка поверхности и повторная покраска
Баббит в плохом состоянии	Чрезмерный износ Чрезмерная вибрация вала Потеря соединения Несоответствующее качество масла или загрязненное масло	Полный осмотр на наличие повреждения баббита: износ, плавление, трещины или потеря соединения Ручное скобление или машинная обработка Повторное нанесение баббита Замена подушки подшипника или корпуса
Высокая температура металла подшипника/масла	Неисправная работа системы подачи охлаждающей воды или недостаточная подача воды Слишком затянутые подшипники/цапфы вала Чрезмерный износ вала на приводящих подшипниках (износ вала) Неравномерный износ цапфы вала Потеря калибровки термического определителя	Полный визуальный осмотр Измерение циркуляции и концентричности цапфы вала Исправление сбоя подачи воды Чистка трубопровода Повторная регулировка подшипников/цапфы вала или повторная машинная обработка подшипников Исправление проблемы износа вала (механическая или гидравлическая балансировка устройства) Повторная машинная обработка цапфы вала Замена или калибровка термического определителя

Окончание таблицы 13

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Чрезмерное или неравномерное расстояние подшипника/цапфы вала	Износ баббита Неравномерный износ цапфы вала Плохая регулировка опорного башмака (подшипника башмачного типа) Не выравнивание или искривление корпуса подшипника (подшипник корпусного типа)	Полный визуальный осмотр и проверка размеров расстояния в подшипнике. Полный осмотр состояния баббита. Ручная шлифовка или машинная обработка подшипника. Повторное покрытие баббитом. Повторная регулировка радиального положения подушки подшипника. Повторное выравнивание корпуса подшипника или ремонт по восстановлению циркуляции Замена подушки подшипника Замена корпуса подшипника
Трещины в опорном подшипнике	Чрезмерная вибрация Высокие динамические нагрузки (напряжения) Аномальные рабочие условия Дефект материалов или конструкции Ослабленные или сломанные болты	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Анализ рабочих условий Осмотр конструкции Повторная затяжка болтов или замена болтов Ремонт сваркой с ослаблением напряжения и обработка как требуется Укрепление опорного подшипника Замена опорного подшипника
Неисправность инструментов, приводящая к отсутствию сигнализации или аномальной температуре или уровню масла	Ненадежные или неисправные устройства Потеря регулировки или калибровки Старая технология	Модернизация оборудования, использование инструментов с самодиагностикой Регулировка и повторная калибровка Обеспечение резерва

Таблица 14 — Изоляция вала турбины (механическая изоляция или прокладки) (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Чрезмерная течь воды или потребление фильтрованной воды	Износ изолирующего элемента (повреждение сегмента или уплотнителя) Коррозионное повреждение на изоляционных компонентах Износ рукава вала Прерывание или неправильная подача фильтрованной воды	Полный визуальный осмотр Замена кольца (изолирующие элементы) Замена рукава вала Машинная обработка рукава вала и/или полировка камнем Прокладка изоляции вала и/или замены сальника
Чрезмерный износ изолирующих элементов	Износ рукава вала Коррозийное повреждение	Машинная обработка рукава вала или мануальная полировка Замена рукава вала

Таблица 15 — Опора осевого подшипника (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам с отдельным поддерживающим кронштейном)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Плохой материал или конструкция Высокое механическое напряжение Увеличенная гидравлическая тяга Разбалансировка устройства Аномальная динамическая нагрузка (гидравлический или компонентный резонанс)	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Запрос относительно предыдущих вмешательств Тестирование на месте (нагрузки, напряжения, частоты) Анализ напряжения и нагрузки Ремонт сваркой Укрепление опоры тягового подшипника Определить и исправить случаи аномальной статической и динамической нагрузки Проверка верхней изоляции рабочего колеса к вытяжной трубе Выравнивание устройства и балансировка

Окончание таблицы 15

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Уровень (или перпендикулярность с осью вращения)	Проблемная сборка Размерная целостность электростанции	Полный осмотр размеров основания опоры подшипника Машинная обработка или регулировка оснований опоры подшипника
Проблема доступа	Плохая конструкция Новые требования к техническому обслуживанию или защите	Сравнительный анализ с современной конструкцией Изменение конструкции опоры тягового подшипника

Таблица 16 — Форсунки (применимо к ковшовым турбинам (турбинам Пельтона)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Течь и слабое образование реактивной струи (может быть вызвано кавитационной эрозией на кромках и концах рассекателей лопастей турбины)	Износ колец гнезда форсунки и игл Инородные объекты, застрявшие между иглой и съемным кольцом сопла (гнезда форсунки), повреждающие кромку уплотняющей поверхности	Проектирование съемного кольца сопла (гнезда форсунки) Восстановление кольца гнезда Замена игл и колец гнезд форсунок
Эрозия на игле и кольце гнезда форсунки	Абразивный осадок в воде	Восстановление колец гнезда форсунки и игл Замена игл и гнезд колец форсунки Наплавка твердым сплавом игл и гнезд форсунки
Эрозия на корпусе форсунок (Эрозия корпуса форсунок)	Абразивный осадок в воде	Восстановление форсунок Замена форсунок с или без изменения материала
Неправильная работа игл	Отложения на втулках, увеличивающие коэффициент трения Неисправность системы смазки Износ серводвигателей Нерасчетные рабочие усилия (недостаточное давление масла или неисправность серводвигателя)	Замена втулок (где возможно, проектирование самосмазывающихся втулок) Ремонт системы смазки Ремонт серводвигателей с заменой поршневых колец Ремонт механического механизма компенсации

Таблица 17 — Отклонители струи и рассеивание энергии

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Неверная работа	Повреждения подшипника, втулок или рабочего механизма Износ серводвигателя Эрозия отражателей	Ремонт регулятора и гидравлической системы Ремонт серводвигателя Ремонт рабочего механизма Восстановление или замена отражателей
Повреждение кожуха рабочего колеса	Частая работа с реактивными потоками Недостаточное укрепление кожуха рабочего колеса в зонах удара реактивной струи Потеря встроенных анкеров	Визуальный осмотр и соответствующий NDT Ремонт сваркой Установка анкеров в поврежденных областях Укрепление кожуха в зонах повреждений

Таблица 18а — Рабочее колесо (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Исключительные рабочие условия Изменения в рабочем режиме станции Остаточные сварочные напряжения Потеря металла вследствие кавитации Напряжения, вызванные нагрузкой Периодические напряжения, вызванные контактом в уплотнениях рабочего колеса Износ поверхности, вызванный эрозией резонанс с внешними возбуждающими частотами	Запрос о предыдущих ремонтах (природа, объем и частота) Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Измерение модели и/или нагрузки прототипа Анализ материала, напряжения и потока Динамические/модельные исследования рабочего колеса и тестирование Анализ износа Сравнительный анализ Сравнение с современной конструкцией Ремонт сваркой Оценить эффективность снятия остаточных напряжений после сварки без термической обработки Изменение профиля лопастей (изменение частоты и интенсивности вихревого жгута) Повторная установка уплотнений рабочего колеса или зазоров между лопастями рабочего колеса и рабочей камерой Изменение рабочего колеса Замена рабочего колеса
Повреждение поверхности проточной части	Неправильный выбор материала Абразивные частицы или кавитационная эрозия Продукты эрозии или коррозии Наросты усоногих раков в рабочих колесах малой быстроходности	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Запрос о предыдущих ремонтах (природа, объем и частота) Анализ потока и материалов Тестирование модели и/или прототипа Ремонт сваркой с материалами, устойчивыми к кавитации или эрозийным частицам Наплавка в зонах, подверженных эрозии Очистка струей песка и покраска Изменение рабочего колеса Замена рабочего колеса с возможной заменой материала
Вибрация	Изменения давления Резонанс Механический дисбаланс Гидравлический дисбаланс Чрезмерный или неравномерный зазор в направляющем подшипнике турбины Изменения в рабочем режиме станции	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Запрос и предыдущем опыте (причины, тенденции, рабочие и физические изменения) Тестирование прототипа на вибрационный анализ Проверка центрирования рабочего колеса Анализ потока Анализ профиля лопаток направляющего аппарата Анализ отсасывающей трубы Осмотр и ремонт подшипников (с или без изменения) Осмотр и ремонт вала турбины Балансировка вращающихся частей Изменения рабочего колеса для улучшения гидравлического баланса Замена рабочего колеса

Окончание таблицы 18а

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Кавитационная эрозия	Работа турбины на нерасчетных режимах Плохой профиль лопастей Изменения профилей, вызванные слабым контролем поверхностей после ремонта сваркой Изменения в режиме работы станции, приводящие к возникновению кавитационного обтекания Плохой выбор материала	Полная проверка размеров Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Тестирование модели и/или прототипа Запрос и предыдущих рабочих и ремонтных практиках (объем и частота) Анализ материала и потока Сравнительный анализ с современной конструкцией рабочего колеса Изменение лопасти Замена рабочего колеса Ремонт слоем сварки материалом, устойчивым к кавитации и повторная установка первоначальных и обратных лопастей
Взаимодействие нижнего обода рабочего колеса и нижнего кольца направляющего аппарата	Некачественная сборка Изменение зазора в уплотнении рабочего колеса, в сравнении с предусмотренным конструкцией Деформация (искривление) нижнего кольца направляющего аппарата или обода рабочего колеса под нагрузкой Деформация (искривление) нижнего кольца направляющего аппарата или обода рабочего колеса из-за нестабильного бетонного основания	Полный визуальный осмотр, проверка размеров и выравнивания Запрос о предыдущем опыте (природа, даты и проводимые меры) Повторное выравнивание устройства Обработка уплотнений рабочего колеса (лабиринта) или замена Изменение нижнего кольца направляющего аппарата или нижнего обода рабочего колеса Повторная обработка поверхностей нижнего обода рабочего колеса и нижнего кольца направляющего аппарата
Необычно ограниченное количество стабильных операций Непродолжительный срок эксплуатации	Изменения давления в отсасывающей трубе Гидравлический резонанс Форма проточной части рабочего колеса и/или отсасывающей трубы Гидравлический дисбаланс (неравные открытия лопастей) Работа на нерасчетных режимах (напр., продолжительная работа при низкой нагрузке) Изменения рабочего режима установки Неэффективная вентиляция отсасывающей трубы	Полный визуальный осмотр Запрос о предыдущих рабочих практиках Запрос об изменениях гидравлических условий Тестирование модели и/или прототипа Анализ потока Сравнение с современной конструкцией рабочего колеса Изменение/оценка системы вентиляции отсасывающей трубы Изменение рабочего колеса Замена рабочего колеса
Недостаточная мощность или эффективность в отношении номинальных значений	Новые рабочие режимы Кавитационная эрозия или абразивный износ лопастей рабочего колеса или повреждения других поверхностей Изменения давления, ограничивающие нагрузку Чрезмерные зазоры в уплотнениях рабочего колеса или зазор между лопастями и камерой рабочего колеса, лопастями и втулкой Плохая гидравлическая конструкция	Полная проверка размеров Запрос об изменениях рабочих режимов в процессе эксплуатации турбины Тестирование модели и/или прототипа Анализ потока и рабочих характеристик Сравнение с современной конструкцией рабочего колеса Изменение рабочего колеса Замена рабочего колеса Оценки отсасывающей трубы и направляющего аппарата

Таблица 18b — Рабочее колесо (применимо к поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины в лопастях	Плохой материал или конструкция Изменения давления и резонанса Неправильный ремонт кавитационных повреждений Попадание тяжелых инородных тел в проточную часть Отрыв потока жидкости во время переходных процессов Сварка без снятия остаточных напряжений Периодический контакт между концами лопастей и камерой рабочего колеса	Полный визуальный осмотр или осмотр NDT (рабочее колесо и разгрузочное кольцо) Запрос об истории эксплуатации и ремонте (объем и частота) Анализ напряжения и нагрузки Соответствующий ремонт сваркой со снятием остаточных напряжений при необходимости Замена лопастей Регулировка вентиляции отсасывающей трубы (система впуска воздуха во время переходных процессов) Регулировка времени закрытия лопаток направляющего аппарата Повторная установка соответствующего зазора между лопастями и камерой рабочего колеса
Кавитационная эрозия (лопасти, корпус)	Неподходящие рабочие режимы Плохой профиль лопастей (конструкция или неправильный ремонт) Плохой выбор материала Неправильный зазор между лопастями и камерой рабочего колеса, а также лопастями и корпусом рабочего колеса	Визуальное исследование и нанесение на карту дефектов Запрос о рабочих условиях и ремонтах (объем и частота) Ремонт сваркой с материалами, устойчивыми к кавитации Замена лопастей (общий ремонт) с возможной заменой материалов
Попадание воды в корпус рабочего колеса (только поворотно-лопастные турбины)	Неэффективное уплотнение лопастей рабочего колеса (ошибка проектирования или чрезмерный износ) Износ втулок лопастей рабочего колеса или поломка подшипников Дефект фланца вала турбины или уплотнения конуса рабочего колеса Трещины в корпусе рабочего колеса или подшипника	Отслеживание притока воды Осмотр и тесты для определения источника течи Замена уплотнений лопастей Общий ремонт рабочего колеса (замена втулок или подшипников и уплотнений) Ремонт сваркой корпуса рабочего колеса или конуса
Повреждения концов лопастей	Недостаточный зазор между лопастями и камерой рабочего колеса Деформация (искривление) опорного кольца Дисбаланс рабочего колеса Нарушение центрирования рабочего колеса/ротора	Визуальный осмотр и нанесение на карту дефектов Ремонт сваркой Восстановление зазора между лопастями Балансировка устройства Повторное центрирование рабочего колеса
Лопасти не двигаются (только поворотно-лопастные турбины)	Недостаточное давление масла Утечки масла в маслопроводах и штангах Неисправность регулятора Дефект механизма поворота лопастей Износ втулок/подшипников Загрязнение масла	Измерение давления масла, требуемое для закрытия и открытия лопастей Оценка механизма поворота лопастей Оценка износа втулки/подшипников Фильтрация масла или его замена Общий ремонт механизма поворота лопастей и/или втулок/подшипников Восстановление регулятора

Таблица 18с — Рабочее колесо (Применимо к ковшовым турбинам (Пельтона))

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Абразивный износ Большое количество циклов Скрытый дефект материала Некачественная сварка и термическая обработка	Запрос о предыдущем ремонте (расположение, количество, частота и методы) Запрос о истории эксплуатации турбины Полный визуальный осмотр Осмотр NDT Анализ материала Анализ потока Анализ напряжений Соответствующий ремонт сваркой и термическая обработка для критических зон
Эрозия	Наличие абразивных частиц в воде Большое количество рабочих часов при полной нагрузке	Полный визуальный осмотр Сравнительный анализ с современной конструкцией Восстановление поверхности сваркой Изменение гидравлического профиля Наплавка твердым сплавом
Плохая гидравлическая работа	Входные края не достаточно острые Грубые или волнистые внутренние поверхности ковша Угол выхода уменьшился из-за эрозии, вызванной отложениями на внешней стороне лопастей	Заточка краев Восстановление внутренних контуров лопастей Устранение волнистости Сравнительный анализ с современными конструкциями Изменение гидравлического профиля Замена рабочего колеса
Толщина стенки ковша слишком малая	Абразивный износ	Структурный ремонт сваркой Восстановление внутренних поверхностей ковшей Замена рабочего колеса

Таблица 19 — Вал турбины (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Трещины	Вибрация Большое напряжение в элементах конструкции Усталостные напряжения Неподходящие рабочие режимы Исключительное событие или аномальные рабочие условия	Полный визуальный осмотр и проверка NDT Осмотр конструкции Ремонт сваркой, термическая обработка и механическая обработка Устранение трещин и формирование изменений без сварки Замена вала турбины Балансировка рабочего колеса и ротора Ремонт направляющего и осевого подшипников или их изменения
Повреждение облицовки вала в месте установки направляющего подшипника	Заедание из-за поврежденного подшипника Коррозия Проблема со смазкой Загрязнение масла	Полный визуальный осмотр и осмотр NDT Ремонт поверхности механической обработкой и/или ручная полировка Восстановление концентричности или балансировка Повторное центрирование вала турбины

Окончание таблицы 19

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Повреждение поверхности фланцев	Коррозия и коррозионное истирание Деформация Неправильно затянутые фланцевые соединения	Полный визуальный осмотр, проверка размеров и осмотр NDT Повторная механическая обработка поверхностей фланцев Замена болтов фланцев с или без замены конструкции Замена вала турбины
Повреждение уплотнений рубашки вала	Коррозия Заедание Недостаточная смазка и охлаждение	Полный визуальный осмотр, проверка размеров и осмотр NDT Восстановление поверхности механической обработкой и ручная полировка Повторная установка концентричности и балансировка Замена рубашки
Трение на прилегающих неподвижных частях (корпус, уплотнение вала, подшипники, покрывающие пластины)	Не выравнивание вала Изоляция подшипника или вала или регулировка накрывающей пластины	Полный визуальный осмотр для нахождения трения Осмотр и исправление для выравнивания устройства Ремонт вала рукава или замена Цапфа вала и ремонт подшипников
Чрезмерные вибрации	Деформация вала Нарушение центровки вала Дисбаланс ротора и/или рабочего колеса Проблемы со сборкой устройства	Полный анализ вибрации Осмотр выравнивания Машинная обработка вала Повторное выравнивание вала Балансировка генератора и/или рабочего колеса Замена вала турбины

Таблица 20 — Маслоприемник и распределительные трубки для масла (штанги) (применимо к поворотно-лопастным турбинам (турбинам Каплана))

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Течь масла	Ослабление труб Изношенные и ослабленные уплотнения Трещины в трубах Изношенные или ослабленные компоненты	Визуальный осмотр и оценки источника течи Разборка или осмотр поршневой масляной камеры Разборка или осмотр трубы Замена неисправных уплотнений и прокладок Ремонт трещин Ремонт поршневой камеры Замена труб для распределения масла
Шум/вибрация	Трубы не укреплены Ослабление поршневой масляной камеры или износ втулок Поломка фланцев или креплений	Визуальный осмотр Разборка и осмотр поршневой масляной камеры Разборка и осмотр труб Замена втулок и изоляции Ремонт/укрепление фланцев и креплений

Таблица 21 — Система регулирования частоты вращения турбины (регулятор) (применимо ко всем турбинам и турбонасосам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Ненадлежащая или неадекватная реакция на команды оператора	Износ клапанов или соединителей Растянутые или изношенные кабели в системе с обратной связью Неисправный тахогенератор Устаревшая технология для современного управления	Полный осмотр и ремонт регулятора, включая системы скорости и сигналы нагрузки, а также положения направляющих лопастей Ремонт регулятора для обеспечения интеграции его функций в локальную и удаленную систему управления ПЛК
Течь масла	Износ клапанов и уплотнений Повреждение фитингов труб	Полный визуальный осмотр Замена уплотнений/клапанов Восстановление/замена труб
Проблемы с системой подачи масла	Неправильное соотношение масло/воздух в пневмогидравлическом аккумуляторе Неправильно выбран объем пневмогидравлического аккумулятора Недостаточная мощность насоса Недостаточная мощность компрессора/источника воздуха Ненадежные инструменты измерения уровня/давления	Установка дополнительного пневмогидравлического аккумулятора Замена пневмогидравлического аккумулятора Восстановление насоса или замена Восстановление компрессора/источника воздуха или замена Модернизация устройств и системы управления

Таблица 22 — Система вентилирования турбины (применимо к ковшовым, радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Недостаточная эффективность или мощность	Чрезмерный расход воздуха Вентилирование используется без необходимости (в реактивных турбинах) Неэффективное положение инжекции Плохое регулирование или нет регулирования подачи воздуха	Тесты на впуск воздуха на прототипе (расход воздуха и эффективность) Сравнительный анализ с современной конструкцией Установка новой системы вентилирования или изменение существующей системы
Неприемлемые изменения давления	Несоответствующий расход воздуха (противодавление может быть чрезмерным из-за конструкции системы) Подача воздуха без необходимости (может вызвать резонанс) Неэффективное положение инжекции Изменения в режиме работы устройства Изменения гидравлических условий	Запрос о предыдущей работе (гидравлические условия, работа устройства, изменение системы) Анализ потока для текущих и ожидаемых условий Тестирование модели и/или прототипа Установка новой системы вентиляции или изменения существующей системы Использование компрессоров
Уровень шума	Конструкция системы вентиляции Засасывается слишком много воздуха	Установка или изменение глушителей Установка или изменение управления расходом воздуха
Потеря масла в подшипнике турбины (только ковшовые турбины (турбины Пельтона))	Несоответсвующий объем или расположение системы вентиляции к рабочему колесу Несоответствующее уплотнение корпуса/вала рабочего колеса для стационарного или переходного режима работы	Улучшение уплотнения корпуса подшипника турбины со стороны рабочего колеса Увеличение подачи воздуха или изменение места расположения устройств впуска воздуха Установка исправного вала или корпуса рабочего колеса

Таблица 23 — Система смазки (механизм приводящих лопастей) (применимо к радиально-осевым, поворотно-лопастным и пропеллерным турбинам)

Аспекты к рассмотрению	Возможные причины	Возможные действия
Течь смазки (выход в окружающую среду)	Износ фитингов и тюбингов Неправильная сборка	Полный визуальный осмотр Замена тюбингов и фитингов Устранение системы с переходов с самосмазывающимся компонентам
Забивка смазкой желобов	Неисправность системы смазки Слабый тип смазки Плохое техническое обслуживание	Полный визуальный осмотр Метод анализа технического обслуживания и сравнение с современными методами Заново определить тип смазки и количества Изменение системы смазки и/или перепрограммирование Замена тюбингов и фитингов Устранение системы с переходом к самосмазывающимся компонентам
Недоступность фитингов смазки	Неправильная конструкция Неправильный монтаж	Осмотр конструкции с изменениями Переход к автоматической системе смазки
Несоответствующая доставка смазки или чрезмерное потребление (выход в окружающую среду)	Неправильные смазочные циклы Плохая конструкция системы	Изменение системы смазки и/или перепрограммирование

7.3.2 Оценка целостности турбины

7.3.2.1 Основные положения

Оценка механической целостности турбины обычно выполняется путем детального осмотра, в идеальном варианте включая осмотры, сделанные в различные периоды срока службы машины. Такие детальные осмотры могут быть выполнены только при отсутствии воды в устройстве и при безопасной изоляции. Необходимо, чтобы осмотр компонентов турбины выполнялся квалифицированным и опытным инженером, который бы знал, какие области подвергаются наибольшему напряжению и потенциальному образованию трещин, особенно когда турбина не разобрана и не все компоненты являются доступными. Даже при участии «эксперта», необходимо выполнять действия с помощью контрольного списка, представленного выше.

Отсутствие информации о состоянии узлов турбины до разборки турбины не позволяет определить необходимость и состав ремонтных работ.

Стоимость ремонта, точную продолжительность периода простоя и потенциальную потерю прибыли трудно определить во время подготовки объема работ.

7.3.2.2 Материал и конструкция

7.3.2.2.1 Основные положения

Механическая и физическая целостность турбины напрямую связана с ее оригинальной конструкцией и материалами. Они влияют на стойкость и возможность ремонта узлов турбины и могут ограничивать возможность новых или временных перегрузок.

Оценка целостности должна проводиться с учетом оригинальной конструкции, чертежей, изменений, спецификациями материалов и любой другой доступной информации по конструкции машины и ее рабочих характеристик. При отсутствии документации, необходимо провести более глубокое исследование машины и ее узлов и деталей. Если неизвестен материал, из которых изготовлены детали узлов и которые предполагается ремонтировать или модифицировать то, могут потребоваться образцы для анализа и выбора доступных вариантов ремонта.

Следует с осторожностью оценивать состояние существующих узлов. Например, в случае с турбиной Каплана или пропеллерного устройства с неподвижной лопастью, имеющие разгрузочное кольцо с внешним слоем из нержавеющей стали или с тонким покрытием из нержавеющей стали, наличие коррозии на поверхности не может служить основанием о неправильном выборе толщины покрытия из нержавеющей стали, а скорее указывает на то, что объект из мягкой стали был зажат между лопастями рабочего колеса и разгрузочным кольцом и на нем остались следы, которые подверглись коррозии.

Владельцу рекомендовано использовать квалифицированный персонал и проверенное программное обеспечение для этой работы, независимо от того, является ли данная служба их собственной, изготовителей или консультантов. Преимущества при общении с производителем, который имеет доступ к оригинальным детальным чертежам и спецификациям материалов, это облегчает анализ, планирование и составление графика работ. В некоторых случаях, можно купить право использовать оригинальные чертежи и документацию, если такое право не имеется у владельца станции.

Для снижения потенциальных проблем истирания материала между контактирующими движущимися частями, выбор материалов является очень важным. Торцевые поверхности лопаток направляющего аппарата, поверхность верхнего кольца и облицовка нижнего кольца направляющего аппарата, а также уплотнение рабочего колеса являются исключительно важными примерами.

Следует учитывать конструкцию всех деталей, узлов, оборудования, их взаимное расположения так, как далее детально описано. Этот аспект становится еще более важным, когда изменения касаются характеристик турбины.

7.3.2.2.2 Трещины, пористость и подобные дефекты

Трещины, поры и подобные дефекты ослабляют детали. Однако они не обязательно приводят к необходимости его замены, но всегда требуют тщательного описания, наблюдения и анализа.

Основными аспектами оценки являются:

- критичность потенциального повреждения детали;
- происхождение дефекта: производственный (горячие трещины, пористость, недостаточное сплавление, включения шлака) или результат влияния нагрузки в процессе работы устройства (холодные трещины, деформация);
- размер дефекта и предел, на который будет распространяться ожидаемая нагрузка.

Критичность дефекта является высокой, если сбой компонента во время простоя турбины приведет к ситуации, подвергающей опасности человеческую жизнь. Это относится ко всем компонентам, находящимся на стороне давления турбины.

Скрытые дефекты часто обнаруживаются в спиральных корпусах, шлюзах и других деталях в местах применения сварочной технологии. Существуют и другие источники скрытых внутренних дефектов. Они многочисленны как методы и материалы, используемые в изготовлении деталей турбины. Если эти дефекты не увеличились за годы эксплуатации, можно считать, что они представляют незначительный и приемлемый риск. Их размер, направление и расположение по отношению к образцу напряжения в деталях будут анализироваться перед тем, как будет принято решение выявить дефект и провести ремонт. Применение сварки при ремонте деталей, которые не подвергаются последующей термической обработке, вызывает появление остаточного напряжения в деталях, наличие которого представляет собой фактор риска.

Трещины, которые образуются при эксплуатации, являются результатом перегрузки, вызванной эксплуатационными нагрузками, в особенности в сочетании с большим остаточным напряжением или скрытыми дефектами или и тем, и другим.

Внутренние дефекты, которые не обнаруживались во время изготовления или которые были обнаружены и являются допустимыми по расположению, размеру и направлению, могут оказаться на поверхности из-за абразивного износа или кавитационной эрозии. Стандартными примерами незащищенных деталей и поверхностей являются основание или внутренний контур лопасти рабочего колеса ковшовой турбины (турбины Пельтона), поверхность лопатки направляющего аппарата в месте соединения ее с (обычно верхней) цапфой, и соединения лопастей со ступицей и ободом в радиально-осевом рабочем колесе.

Условиями, для возникновению и увеличению трещин, являются высокие остаточные и возникающие напряжения, локальные пластичные растяжения, вибрационные эластичные растяжения и коррозийная среда. Типичными областями, где проявляются данные факторы, являются вал радиально-осевой турбины возле фланцевого соединения с рабочим колесом, фланцы в спиральных корпусах или статорные кольца с несоответствующим уплотнением или соединительные зоны рабочего колеса с валом, особенно в горизонтальных машинах.

Для правильной оценки влияния таких дефектов крайне важно их документирование и наблюдение во время эксплуатации. Документация содержит описание расположения, размера и направления, проверенное с помощью NDT, и предписание, как исправлять дефекты, если они достигли или перешли определенные пределы.

Оценка потенциального влияния дефектов может быть выполнена конвенциональными техниками, включающими аналитические вычисления, и, если необходимо, с анализом методом конечных элементов. Во многих случаях, сравнительный анализ с использованием конвенциональных методов, является самым применимым, где предположения и ссылки берутся с частей с подобной геометрией и растяжением при одинаковых условиях нагрузки, и которые имели хороший срок службы. Следует избегать больших затрат на анализ влияния неисправленного дефекта, чем затраты на его ремонт.

Исправление дефектов можно выполнить путем вышлифовывания и оставления полости или путем восстановления оригинальной геометрии компонента с помощью сварки и грунтовки.

При использования грунтовки, следует учитывать возможные побочные эффекты, например, вторичные потоки из-за повреждения гидравлического профиля, или ослабление детали на месте расположения дефекта.

В случае ремонта сваркой, соблюдения технологического процесса сварки является обязательным, так как неправильный ремонт или обработка могут увеличить повреждения.

Подготовка плана ремонта требует знания свойств материалов, оригинальной конструкции и производственных процессов, а также подробностей истории ремонтов.

Документы, подтверждающие качество изготовления турбины, акты технического осмотра и ремонтов, как на заводе, так и на месте, являются неотъемлемой частью документации турбины, которая должна быть предоставлена поставщиком турбины, поставщиком материала или их инспекторами или владельцем.

Требования к выбору заполняющего металла:

- гомогенный: химический состав сварочного металла и материала основания одинаковый; микроструктура также является сравниваемой;

- сходный: химический состав сварочного металла и материала основания одинаковый; микроструктура не идентичная;

- отличный: химический состав сварочного металла и материала основания, а также микроструктура не одинаковые.

Следует с осторожностью использовать отлично заполняющий металл для ремонта. Например, при использовании непохожего аустентичного заполняющего металла при ремонте мартенситной нержавеющей стали, во время последовательной термической обработки может возникнуть выделение карбидов.

В некоторых случаях, замена детали может оказаться более экономичной, чем ремонт трещин или других дефектов. Это особенно применимо тогда, когда доступ к поврежденным зонам возможен только после разборки узла, так как нельзя точно рассчитать необходимое время ремонта и можно выйти за границы планируемого периода простоя устройства.

При оценке важности дефектов элементов, у которых, до данного времени, не произошел сбой, и которые «предлагается оставить не отремонтированными», следует учесть, что после ремонтных работ они не должны оказывать влияния на условия нагрузки на детали узлов.

7.3.2.2.3 Допустимые уровни напряжения

Детали, на которых не выявлены нарушения, должны подвергаться анализу напряжения для подтверждения их соответствия планируемому продолжительному сроку службы. Когда планируется провести изменения в рабочем режиме, силе, направлении, разгрузке или скорости устройства необходимо провести более детальный анализ того, какие детали узлы будут затронуты предлагаемыми изменениями и в какой степени. Таким же образом, если в детали возникли трещины или деформации во время эксплуатации, следует определить причину такого поведения. Потребуется анализ детального напряжения и анализ отклонения положений деталей или применение более сложных методов проектирования, чем те, которые применялись во время первоначального проектирования, например, использование метода конечных элементов.

Допустимые уровни напряжения в старых турбинах устанавливались во времена, когда лучшим инструментом для проектирования была эмпирическая формула для расчета «среднего» напряжения в данном компоненте или члене. Если не предусматриваются изменения максимальных нагрузок, которые будут восприниматься турбиной, ремонт которой рассматривается, можно избежать детальных расчетов напряжения и отклонения. Однако если, как в большинстве случаев, рассматривается увеличение максимальной мощности, следует выполнять детальные расчеты, чтобы оценить влияние новых условий.

Использование техники анализа конечных элементов позволяет определить более точную картину напряжений во время фазы проектирования, к которой будут относиться основные компоненты. Сочетание анализа квазистатичного напряжения и анализа износа должно быть выполнено для определения полезного срока службы нового компонента с новыми ожидаемыми условиями проектирования. Такие анализы, хотя и более трудные, следует проводить для компонентов, которые будут вновь использоваться. Принимая во внимание то, что уровни динамического напряжения определяются «из опыта», имеется необходимость периодически проверять предполагаемые значения. В случае больших устройств, следует рассмотреть применение неустойчивых расчетов CFD для оценки динамической нагрузки давления на лопастях рабочего колеса, которое может произойти из-за взаимодействия с направляющим аппаратом турбины.

Рекомендуется для больших устройств, первое рабочее колесо каждой конструкции подвергнуть тестированию деформаций во время ввода в эксплуатацию, чтобы подтвердить, что динамическое напряжение, предполагаемое во время расчетов износа, не было превышено. Если производитель имеет те же данные об изменениях напряжения и остаточном напряжении на больших устройствах, это будет являться значительным преимуществом для владельца меньших устройств.

7.3.2.2.4 Различное комплектующее оборудование

Во время основных ремонтных работ хорошей и оправданной практикой является замена всех креплений, которые находятся в водотоке или подвержены влаге и сухости. Также хорошей практикой является замена креплений, подвергаемых нагрузке на стороне высокого давления и износу. Выбор очистки и тщательного осмотра креплений может быть таким же дорогим, как и замена, а с точки зрения графика, замена имеет меньше рисков.

Следует заменить небольшие трубы для воды (50 мм и менее), если они изначально поставлялись из материалов, не обладающих коррозийной стойкостью. Даже оригинальные материалы с коррозийной стойкостью должны пройти гидростатические испытания давлением, предпочтительно во время начальной фазы проектирования, так, чтобы можно было своевременно принять решение о их замене. Более крупные трубы следует осматривать и тестировать перед принятием решения.

Следует предположить, что все уплотнения и прокладки частей, которые должны быть разобраны и собраны повторно во время ремонтных работ, должны быть заменены.

Капитальный ремонт представляет собой возможность переоценить полный состав инструментов, которые поставлялись и устанавливались на оригинальном устройстве. Есть лишь малая вероятность того, что оригинальный комплект инструментов является до сих пор действующим, и если нет, можно найти замены моделей. Лучшим подходом является замена их самым современным и надежным оборудованием, доступным на время капитального ремонта.

7.3.2.2.5 Требования к основанию фундамента, на котором установлена турбина

Основания, на котором установлена турбина, имеет значительное влияние на условия работы турбины. Например, разбухание цемента, как результат реакции на щелочный наполнитель, наблюдается на многих старых гидроэлектростанциях. Оно обычно приводит к смещению встроенных компонентов турбины и генератора и нарушению центрирования неподвижных и вращающихся частей энергетической установки. Нарушение центрирования может привести к наклону вала и увеличить радиальную нагрузку на радиальных подшипниках, наклону элементов направляющего аппарата и преждевременному износу направляющих лопаток, верхнего и нижнего кольца направляющего аппарата, а также привести к контакту с уплотнением рабочего колеса. Также может быть вызвана трещина статорной лопасти.

Это процесс невозможно предотвратить и его влияние возможно устранить только путем периодического центрирования и регулировки или ремонта устройства. Если степень набухания очень большая, необходимо отрегулировать неподвижные части таким образом, чтобы предусмотреть смещение и облегчить повторное центрирование устройства.

7.3.2.2.6 Использование самосмазывающихся материалов

В устаревшем оборудовании все втулки в элементах направляющего аппарата и механизма поворота направляющего аппарата обычно выполнены из меди или бронзы и покрыты смазкой. Даже если система работает надежно, из экологических соображений следует рассмотреть замену таких элементов на самосмазывающиеся материалы.

Самосмазывающиеся материалы следует выбирать с учетом области их применения, они должны иметь хорошую абразивную стойкость и быть стабильными в отношении размеров при контакте с водой. Следует предотвратить попадание грязи между скользящими поверхностями путем использования соответствующего уплотнения особенно на втулках, находящихся вблизи проточной части турбины.

Многие из самосмазывающихся материалов имеют коэффициенты теплового расширения намного больше, чем металлы, в которые они помещены, поэтому обеспечение хорошей взаимосвязи при всех рабочих условиях, особенно в холодном климате, представляется достаточно сложной задачей. Рекомендуется положительное связывание многих из этих материалов с их корпусами, чтобы обеспечить долговременную надежность.

Некоторые из доступных материалов, особенно с тонкой пленкой, требуют особенной осторожности для избежания повреждений во время монтажа. Однако при правильной сборке они могут обеспечить долговременную надежную эксплуатацию.

Самосмазывающиеся материалы, доступные на рынке, имеют большой диапазон коэффициентов трения. Это приводит к необходимости тщательного осмотра серводвигателей в механизме поворота.

Поворот лопаток направляющего аппарата в процессе регулирования приводят к возникновению кромочной нагрузки, особенно в цапфах лопаток направляющего аппарата, прилегающих к водотоку. При выборе материала для втулок направляющих лопаток следует принимать во внимание максимальную величину кромочной нагрузки. Материалы должны быть «приработаны т˚ением» без разрушений.

7.3.2.3 Рабочие вопросы

Гидравлические условия, при которых генерирующее устройство работает так же, как и нагрузка на устройстве, может иметь влияние на его механическую целостность.

Если устройство часто работает при частичной нагрузке, оно может страдать от нагрузки на направляющих подшипниках из-за гидравлической нестабильности. Если уровень нижнего бьефа не соответствует производственным пределам по высоте всасывания, может возникнуть кавитация . Информация, относящаяся к эксплуатации турбины, является крайне важной для правильной оценки условий существующего устройства и для правильного проектирования новых компонентов.

7.3.2.4 Вопросы сооружения и технического обслуживания

Некоторые из проблем, обнаруживаемые во время оценки турбины или генерирующего устройства, имеют прямое отношение к качеству сооружения устройства и технического обслуживания. Недостаток технического обслуживания может привести к сбоям компонентов, таких как сгоревшие подшипники или предварительный износ механизма поворота лопаток направляющего аппарата. Оценка центрирования направляющего аппарата является важным аспектом оценки целостности. Следует проверить соосность отверстий втулок направляющих лопаток в нижнем кольце направляющего аппарата с отверстиями в верхнем кольце. Если имеются значительные отклонения соосности, то это преждевременно ускорит износ втулок из-за чрезмерной нагрузки и возможного заклинивания механизма поворота лопаток направляющего аппарата. Может потребоваться совместная расточка верхнего и нижнего кольца. Если данные проблемы существуют, их следует правильно определить, чтобы избежать их повторения у отремонтированных компонентов.

7.3.2.5 Механические вибрации

7.3.2.5.1 Основные положения

Часто возникающей в гидравлических устройствах проблемой является чрезмерная вибрация. Основным источником чрезмерной вибрации являются:

- механический или гидравлический дисбаланс рабочего колеса;
- неисправность направляющего подшипника;
- неравномерный зазор в уплотнении рабочего колеса;
- механический или электрический дисбаланс генератора;
- нарушение центрирования генерирующего устройства;
- гидравлическая нестабильность.

7.3.2.5.2 Механический или гидравлический дисбаланс рабочего колеса

Механический дисбаланс рабочего колеса может вызвать механическую вибрацию (износ вала) и будет приводить к увеличенной нагрузке направляющих подшипников и потенциальному повреждению опорных компонентов. Допуски балансировки для современных рабочих колес (после 1970 г.) являются жесткими, чтобы не допустить данной причины износа.

Гидравлический дисбаланс будет возникать в том случае, если открытия между лопастями рабочего колеса не являются достаточно равномерными. Данный тип дисбаланса обычно характеризуется увеличенным износом вала с увеличенной нагрузкой (разгрузкой). В [1] устанавливает допуски, которые следует принимать во внимание в данном отношении, хотя многие производители и пользователи используют даже более жесткие допуски.

7.3.2.5.3 Неисправности направляющих подшипников

Необходимо обеспечить устойчивость направляющих подшипников как в турбине, так и в генераторе, чтобы выдерживать самые тяжелые рабочие условия без допуска контакта в уплотнении рабочего колеса или в воздушном пространстве генератора. Первая критическая частота вала должна иметь значительное

отличие от разгонной частоты турбины, чтобы избежать резонанса. Этого можно достичь, только обращая внимание на устойчивость системы вала и опорную устойчивость направляющих подшипников. Эти факторы являются крайне важными при ремонте устройства, в тех случаях, когда предполагаются изменения во вращающихся частях системы, на направляющих подшипниках, или на опорных подшипниках, или при замене рабочего колеса турбины рабочим колесом с большей разгонной скоростью. Расчеты критической частоты будут выполняться вместе с проверкой способности ротора генератора выдерживать большие скорости, если превышение разгонной скорости более нескольких процентов.

Недостаточные допуски на размеры составляющих направляющих подшипников в холодном состоянии и изменения величины зазоров направляющих подшипников из-за термического воздействия как на роторных частях, так и на самом подшипнике, с холодного до рабочего состояния, могут приводить к чрезмерным вибрациям или к механическим повреждениям на генерирующем устройстве. Чрезмерный износ вала обычно приводит к слишком большим рабочим зазорам. Чрезмерный перегрев подшипника, преждевременный износ и неисправности обычно возникают, когда рабочие зазоры являются слишком маленькими. Если возникала одна из этих проблем на рабочей машине, ремонтные работы представляют собой возможность исправить конструкцию и недостатки.

7.3.2.5.4 Неисправности уплотнений рабочего колеса

Компенсационные кольца на поверхностях уплотнений должны иметь соответствующие размеры, чтобы избежать контакта с неподвижными частями и крепиться таким образом, чтоб не допускать гидравлически вызываемых вибраций или центробежной сепарации вращающегося уплотнительного кольца. Высокая стоимость энергии может заставить производителя и владельца уменьшить зазоры в уплотнении рабочего колеса для большей эффективности во время ремонтных работ. Не следует переходить безопасный минимум для критичной стадии стабильности и переходных режимов работы. Такие прибыли можно получить с помощью измененной конструкции уплотнения без уменьшения зазора. Если локальный контакт в уплотнении рабочего колеса при условии разгонной скорости может и не быть критичным, то полный контакт (по диаметру) будет разрушительным.

7.3.2.5.5 Дисбаланс генератора

Связанные с генератором вибрации обычно бывают двух типов. Первый — это механический дисбаланс, возникающий при изготовлении ротора или первоначальной конструкции. Второй связан с несбалансированностью магнитной силы, которая возникает в результате концентричности ротора или ошибок циркуляции в отношении оси вращения.

7.3.2.5.6 Отклонение размеров генерирующего устройства

Отклонение оси вала может привести к увеличению нагрузки направляющего подшипника, которая приводит к преждевременным сбоям. Также это может привести к аномальным напряжениям вала и проблемам в уплотнениях рабочего колеса и с размерами воздушных зазоров в генераторе. При любых основных ремонтных работах, следует разобрать соединительные муфты и провести проверку размеров, чтобы определить, есть ли необходимость в механической обработке.

7.3.2.5.7 Гидравлическая нестабильность

Чрезмерная вибрация может также быть связана с гидравлической нестабильностью, которая может привести к вынужденному резонансу и к повреждению компонента. Источники гидравлической нестабильности описываются в секции оценки работы турбины.

7.3.2.6 Трещины и дефекты в рабочих колесах турбины Пельтона

7.3.2.6.1 Основные положения

Самым важным аспектом, отличающих ковшовые турбины (турбины Пельтона) от всех других типов турбин, является способ нагрузки лопасти рабочего колеса. Они подвергаются очень большим скоростям потока, что вызывает износ и истирание, влияние реактивной струи приводит к большому количеству циклов нагрузки (скорость 500 оборотов/мин, 6 форсунок, 1500 часов в год приводит к $2{,}7 \cdot 10^8$ циклам в год).

Ковшовые турбины (турбины Пельтона), являющиеся высоконапорными турбинами, часто используются в гористых местностях, где в воде находятся мелкие, но очень твердые абразивные частицы от ледников. Эти частицы трудно отделить из-за их маленького размера и низкой массы.

Области лопасти для исследования показаны на рисунке 2. Первая область *A* у основания лопасти подвергается большому напряжению, обычно центробежному напряжению устойчивой стадии и динамическому напряжению, и поэтому дефекты поверхности или слегка под ней будут точками образования трещин. Вторая область *B* на входе в разделитель также подвергается большим напряжениям из-за небольшой толщины стены в дополнение к эрозии. В обеих областях возможны производственные дефекты, которые не всегда обнаруживаются и устраняются в цехе.

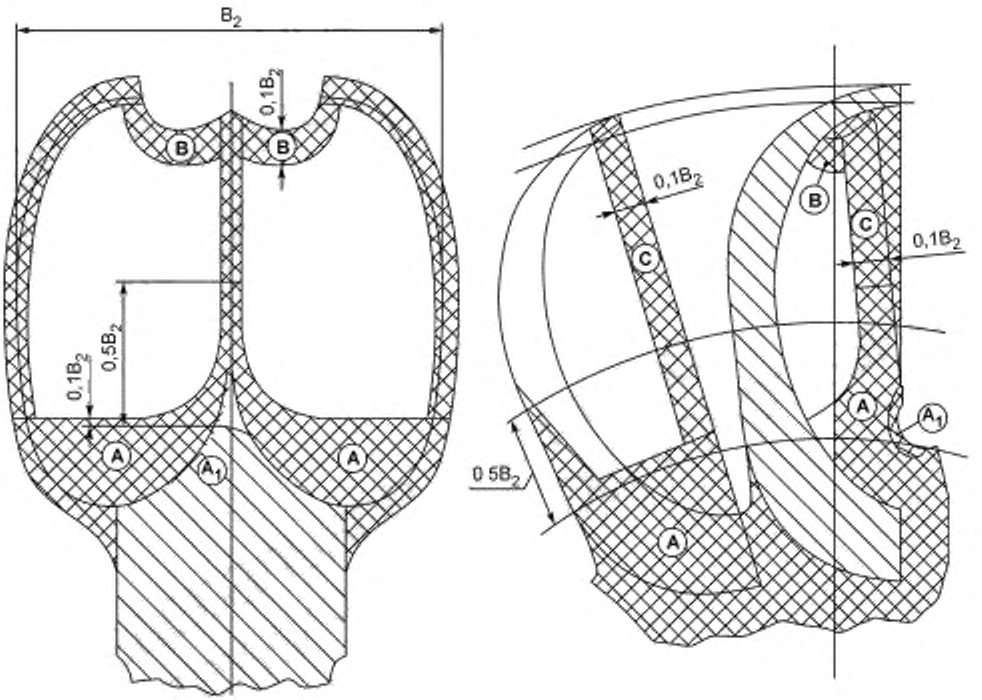

Рисунок 2 — Критические зоны для трещин A и B в лопастях рабочего колеса турбины Пельтона

7.3.2.6.2 Определение условий эксплуатации рабочих колес ковшовых турбин (турбин Пельтона) и последующие риски

Ремонтная сварка, даже небольшая, оказывает влияние на структуру компонента, которая может оказаться неисправной. Для успешного ремонта, необходимо собрать как можно больше данных, начиная от изготовления турбины и включая все последующие ремонты. Влияние механической обработки (грунтовка, шлифовка и т. д.) небольшое и им можно пренебречь.

Определение объема истирания можно выполнить с помощью образцов, если возможно измерение лопастей на станке с ЧПУ. Выполняться сравнение между эффективными остаточными и спроектированными контурами и определяться остальные поперечные сечения для расчета и оценки последующего напряжения.

Для любого ремонта сваркой, которое затрагивает послесварочную термическую обработку, предлагаемые температуры будут тщательно выбираться, чтобы избежать негативного влияния физических характеристик в базовом материале и снизить искривления. Любая термическая обработка будет приводить к искривлениям, поэтому, где необходимо, нужно предусмотреть повторную механическую обработку.

7.3.2.6.3 Другие аспекты турбины Пельтона

Иногда возникают проблемы с отводным каналом, если уровень воды там слишком высокий или вентиляция корпуса турбины и расхода внешнего потока не являются соответствующими. Это будет происходить, если увеличился уровень воды в нижнем бьефе, если сток блокируется осадками, если есть изменения в конструкции строения, или если был увеличен максимальный расход турбины без внесения необходимых изменений в регулировании стока воды в низовье.

Увеличение вентиляции в рабочем колесе турбины может быть достигнуто просверливанием дополнительных отверстий в корпусе турбины, которые затем соединяются с помощью соответствующих труб с источником атмосферного воздуха, без нежелательных шумовых эффектов.

7.3.3 Остаточный срок службы

На полезный срок службы деталей и узлов оказывает влияние много факторов, включая конструкцию, используемые материалы, методы изготовления, прошедшие и будущие рабочие условия и проводимое техническое обслуживание.

Теоретически возможно рассчитать остаточный срок службы деталей с помощью теоретических положений механики разрушения, но применение данного метода требует оценки множества параметров, например, свойств материала, расположения, формы и размеров дефекта, точной нагрузки и локальных напряжений в компоненте, а также характеристики применяемой нагрузки, включая амплитуды и количество циклов для динамических условий. Большую часть данной информации очень сложно установить с точностью для большинства существующих деталей турбины.

Возможно, оценить остаточный срок службы многих компонентов с достаточным уровнем уверенности, основываясь только на осмотре, информированных инженерных суждениях и сравнения с компонентами, которые были изготовлены по той же технологии в отношении конструкции и материалов, и которые работали при похожих условиях в течение многих лет. Это утверждение применимо тогда, когда нет локальных значительных производственных дефектов.

Обычно возможно установить, почему компонент износился или произошел сбой, и эта информация важна для предсказания оставшегося срока службы подобных деталей или для изменения конструкции неисправного компонента.

Для того, чтобы установить оставшийся срок службы детали, важно идентифицировать признаки повреждений, такие как трещины, серьезные коррозионные повреждения, аномальный шум, изменения в амплитуде вибрации или частоте, изменения температуры и давления, а также аномальную течь.

Для помощи владельцам в оценке и рассмотрении состояния их оборудования существует большое количество документов (например, Руководства по электрическим допускам и системы выравнивания вала канадской электрической ассоциации). Также важно регулярно просматривать результаты технического обслуживания и последствия любых аномальных рабочих условий, которые иногда могут предсказать приближение «конца срока службы» компонента. Регулярная оценка состояния оборудования является необходимым вкладов для любой оценки.

7.3.4 Оценка работы турбины

7.3.4.1 Основные положения

Самыми важными характеристиками для рассмотрения при проведении ремонтных работ являются потенциальная мощность, потенциальное увеличение мощности, снижение кавитационной эрозии и улучшение гидравлической стабильности. Следует начать с как можно более точной оценки потенциального прироста эффективности, которую можно ожидать от новой турбины с подобными характеристиками. Предел, на который можно улучшить рабочие характеристики существующей (старой) турбины может зависеть от типа и срока службы устройства. Приблизительная оценка потенциального улучшения приводится в следующих подпунктах. Эта информация основана на большом количестве конструкций и размеров турбин, и должна быть использована только для первой фазы оценки улучшения рабочих характеристик, которые можно ожидать при ремонте данного устройства.

В особых случаях, например, когда изменения частоты выполняются на генераторе, требуется провести изменения скорости турбины. Это может быть полезно для работы турбины, если следует заменить рабочее колесо. Во время написания данного руководства также имеется технология, при которой в ремонтируемую установку встраивается возможность «регулируемой скорости». Такая характеристика может быть крайне полезной для реверсных турбонасосов, и для турбин и гидроагрегатов, работающих при изменяющихся условиях специфической гидравлической энергии. Изменение скорости на данной площадке или использование технологии регулируемой скорости требует обязательства тщательного изучения потенциального влияния на измененные вынужденные частоты гидравлической машины на потенциальный резонанс в общей системе желобов.

Несмотря на улучшенные рабочие характеристики, к которым можно стремиться, первым приоритетом владельца будет иметь генерирующую станцию, которая имеет наивысшую возможную надежность и производительность. Если изменения, проведенные на устройстве, приведут к снижению надежности или производительности, то владелец не сможет получить прирост максимальной выработки или эффективности. Следующие подпункты описывают четыре главных аспекта при оценке рабочих характеристик.

7.3.4.2 Увеличение мощности

Основываясь на информации записей о работе установки и определенной в результате проведения испытаний, в том числе испытанием по определению гидравлических условий, можно установить, есть ли предпосылки к снижению мощности. Например, причиной для дальнейшего исследования состояния проточной части турбины является снижение выходной мощности при полном открытии лопаток направляющего аппарата при оцененных гидравлических условиях от 4 % до 6 %. Если позволяют время и условия, а также размер установки подтверждает это, может быть выполнен профессиональный полевой тест для определения текущих рабочих характеристик турбины. Если срок службы рабочего колеса составляет более 2 лет, и по механическим причинам следует провести ремонт на устройстве для удержания его в рабочем состоянии, и что его нужно разобрать для ремонта, часто экономически оправданной является установка нового рабочего колеса турбины и возможное изменение других компонентов для достижения желаемых рабочих характеристик.

Экономические решения по данной установке в отношении максимальной производительности зависят от многих факторов, включая:

- оригинальную конструкцию и состояния механических компонентов в механизме поворота лопаток направляющего аппарата,
- максимально доступную разгрузку (это может иметь связь с проблемами окружающей среды или другими контрактными вопросами);
- мощность генератора (активная мощность — MW);
- установки турбины в отношении уровня воды низовья;
- тип и характеристики отсасывающей трубы;
- оценку уровня воды низовья по сравнению с общим расходом в канале;
- потери во впускных желобах.

Механическая конструкция валов, муфт, крестовин ротора, цоколь статора, (приводной механизм) в старших устройствах обычно может принять увеличение мощности при минимальных изменениях или без них. В некоторых случаях требуются только незначительные изменения. Точное количество изменения мощности может быть определено только после проверки всех потенциальных влияний и оценки всех случаев, при которых такие действия приведут к большему напряжению, чем предусматриваемому оригинальной конструкцией.

Исторически, увеличение мощности на 10 % ... 20 % является обычным явлением, так как для многих старых устройств действительные потери мощности, превышали «прогнозируемое» значение на 10 % или 15 %. Это было типично во времена до появления вычислительной гидродинамики и числового программирования.

В дополнение, генераторы, построенные до 1965 г., имели изоляционные системы класса В на основе асфальта/слюды на обмотках статора, что приводило к необходимости иметь толщину стен гораздо большую, чем современные системы класса F на основе эпоксида/слюды. Этот факт позволяет увеличивать термическую мощность генератора от 20 до 30 % путем простой установки новой обмотки статора. Генерирующая станция Хувер Дэм (Hoover Dam Generating Station) в Соединенных Штатах является примером того, чего можно достичь при ремонтных работах и улучшении рабочих характеристик, когда все условия: гидравлические, электрические и механические являются благоприятными.

Устройства 1—4 генерирующей станции Хувер Дам прошли два ремонтных этапа в 1968 и 1986 гг. Результаты, представленные владельцем, показаны на рисунке 3.

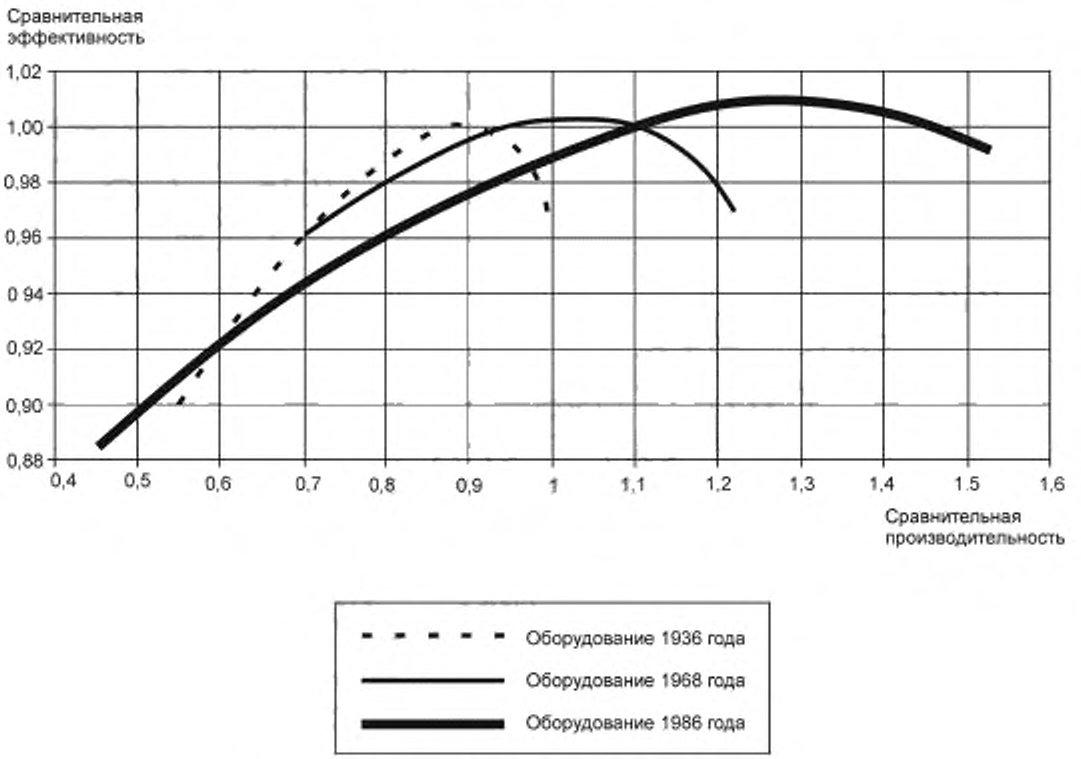

Рисунок 3 — Сравнительная эффективность по сравнению со сравнительной производительностью — первоначальные и новые рабочие колеса

Не все гидроэлектрические площадки имеют возможности для увеличения мощности, как было на Хувер Дам (более 50 %). Интервал между наращиванием ресурсов на данной станции также более короткий, чем это является экономически оправданным при большинстве рыночных обстоятельств.

В случае с Хувер Дэм увеличение пиковой эффективности было сравнительно скромным 1 % из-за более высокой разгрузки, проходившей через оригинальные водотоки, и приводящей к потерям, которые частично компенсируют эффективность, полученную с новыми профилями рабочего колеса.

В других случаях, можно увеличить скорость турбины путем поставки нового генератора и если увеличение производительности устройства дольно большое, то это может быть экономически оправдано. Турбина Outardes 3 и проект ремонта генератора в Канаде (см. рисунок 4) являются хорошим примером того, чего можно достичь при увеличении мощности до 44 % с увеличением пиковой эффективности турбины более чем на 3 %. Оригинальное устройство было введено в эксплуатацию в 1968 г., а ремонт турбины и замена генератора были проведены в 2003 г. Гидравлические потери в проточной части вне турбины увеличились для всех рабочих условий по сравнению с первоначальными и они будут оценены при расчете чистой выгоды.

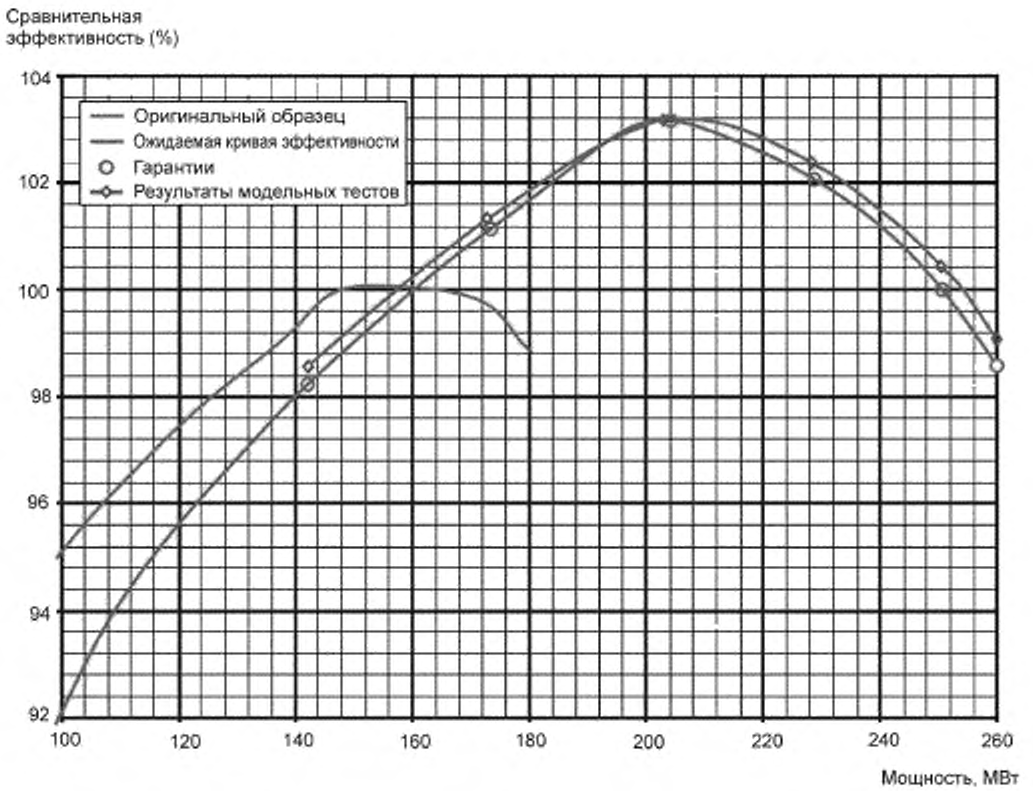

Рисунок 4 — Сравнительная эффективность по сравнению с сравнительной производительностью — Первоначальные и новые рабочие колеса — генерирующая станция Outrades 3

7.3.4.3 Увеличение эффективности

7.3.4.3.1 Оценка устройства

Первый шаг в оценке потенциального улучшения эффективности состоит в определении рабочих характеристик турбины в ее текущем состоянии. Второй заключается в том, чтобы увидеть, что может предложить изготовитель в отношении улучшения характеристик. Эти оба шага являются крайне важными для оценки потенциала улучшения рабочих характеристик, и отсюда, потенциальной выгоды (увеличение ежегодной прибыли).

Эффективность турбины существующего устройства должна определяться в соответствии с ГОСТ 28842.

Рисунок 5 показывает распределение пиковой эффективности для большого ряда моделей радиально-осевых турбин в 2005 г.

Левая ордината графы представляет собой пиковую гидравлическую эффективность «на устройство», в то время как правая ордината показывает гидравлические потери «на устройство». Данный график дает хорошее представление о том, чего можно ожидать с точки зрения характеристик от совершенно нового устройства в данный период времени. Однако следует помнить, что редко является достижимым ремонтировать старую турбину и получить эффективность новой турбины при тех же гидравлических условиях и размере. На данном графике видно, что рабочее колесо турбины представляет собой самый главный компонент, который ведет к гидравлическим потерям.

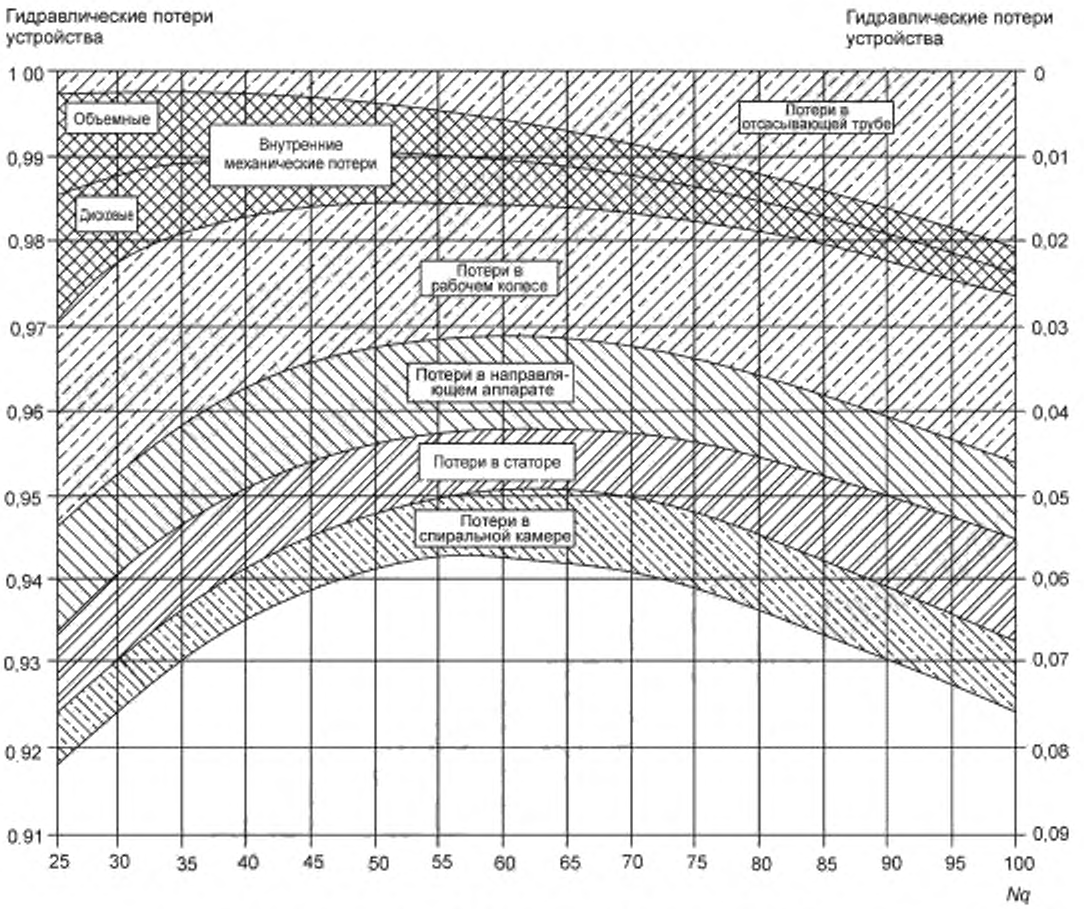

Рисунок 5 — Эффективность и распределение потерь к удельной скорости радиально-осевых турбин (модель) в 2005 г.

Элементы подвода потока к турбине, включая спиральную камеру, статор и направляющий аппарат, являются второй важной частью турбины, в то время как для турбин с низкой удельной гидравлической энергией (напором) также очень важной является отсасывающая труба.

Значительное ухудшение рабочих характеристик может быть определено из испытания мощности, или индекс-теста, а также путем сравнения результатов с испытаниями, проведенными ранее. Для небольших устройств этот подход, наряду с тщательным осмотром, включая измерение зазоров в уплотнении рабочего колеса, зазоров поворотного затвора, и тщательной регистрации всех повреждений проточной части турбины является достаточной базой для оценки квалифицированным консультантом или изготовителем существующего рабочего колеса или замены рабочего колеса новой конструкцией. Это позволит оценить все возможные прибыли от улучшений характеристик направляющего аппарата, статора, спиральной камеры и отсасывающей трубы.

Сравнение результатов недавних испытаний и испытаний при вводе в эксплуатацию также предоставляет информацию о том, есть ли ухудшение рабочих характеристик турбины. Недавние испытания могут служить маркером для оценки будущих улучшений технических характеристик.

Выбор подходящего типа испытаний, которые будут проводиться, требует тщательного рассмотрения, основанного на значимости проекта, потенциальном приросте энергии и последствий, которые возникнут при их неполном соблюдении. Варианты испытаний включают следующие испытания:

- полевые тесты (перед ремонтом и после него на ремонтируемом устройстве):

a) тесты мощности при управляемых гидравлических условиях;

b) индекс-тесты (сравнительной эффективности) при управляемых гидравлических условиях;

c) тесты на абсолютную эффективность (по ГОСТ 28842);

- модельные тесты (на новой модели существующей конструкции и новой модели новой конструкции);

- анализ CFD с или без проверки модели тестированием.

Экономический анализ требуется для определения экономического сочетания исследований и тестирования в данном случае.

Указанные варианты описаны в настоящем стандарте. Ниже представлены типичные варианты улучшения эффективности (или снижения потерь) для старых турбин. Эти варианты касаются улучшения технических характеристик эффективности турбины в зависимости от срока службы устройства и даты предполагаемых изменений. Информация, касающаяся улучшения характеристик с новым рабочим колесом (см. таблицу 16) относится к новым устройствам в каждый период времени. Определенный процент прироста иногда может быть не достигнут при ремонтных работах из-за ограниченной возможности поставщика изменить или полностью отремонтировать компоненты проточной части вне самого рабочего колеса. Значения, представленные в настоящем стандарте, являются усредненными, все гидроэлектрические генерирующие станции, являются особым случаем, которые должны быть изучены.

Любое новое рабочее колесо должно быть совместимо с другими элементами проточной части турбины. При невыполнении этого условия может быть не достигнуто запланированное увеличение эффективности. В некоторых случаях новое рабочее колесо может иметь меньшую эффективность, чем старое.

7.3.4.3.2 Улучшение рабочего колеса

В таблица 24 представлена информация о потенциальном увеличении эффективности по сравнению со старой турбиной только при изменении профиля рабочего колеса. Эти увеличения эффективности определяются разницей эффективности радиально-осевой турбины между замененным и оригинальным рабочим колесом, без других изменений. Несколько лучшие увеличения сравнительной эффективности отражают тот факт, что производители достигли увеличения эффективности не только в диапазоне оптимальных мощностей, но и во «внепиковых» областях, где это увеличение эффективности больше, чем при максимальной мощности. Увеличение эффективности вследствие изменения других компонентов проточной части рассматривается отдельно. Увеличение эффективности является приблизительным значением, которое должно использоваться только в предварительном изучении реализуемости. Для более детального исследования реализуемости следует связаться с изготовителями турбин для получения удельных значений потенциального улучшения эффективности для запрашиваемого устройства и для предлагаемых альтернатив.

Таблица 24 — Потенциальное улучшение эффективности радиально-осевых турбин (%) только при изменении профиля рабочего колеса

Срок службы радиально-осевой турбины (период заканчивается в 2000)					
60 лет		40 лет		20 лет	
Пик	Оцениваемый	Пик	Оцениваемый	Пик	Оцениваемый
2,2	2,7	1,0	1,3	0,5	0,7

Примечание — Данная информация была представлена Rousseau Sauve Warren Inc.(RSW) во время работы над руководством МЭК. Значения в таблице взяты из собственного опыта и результатов опроса RSW, проведенного основными международными производителями турбин.

Когда заменяется рабочее колесо, производители могут рассмотреть потенциальную прибыль от изменения количества лопастей рабочего колеса. При всех таких же остальных компонентах увеличение количества лопастей рабочего колеса дает изготовителю возможность снизить удельное давление вдоль лопасти и улучшить кавитационные характеристики при данном максимальном значении мощности. При изменении соответствующего профиля можно ожидать увеличения максимальной мощности. Любое изменение количества лопастей должно быть сделано с учетом динамического взаимодействия между направляющим аппаратом турбины и самим рабочим колесом. Следует учитывать нестабильность потока, особенно в случае высоких напоров и небольших расстояний между выходными кромками направляющих лопастей и входными кромками лопастей рабочего колеса.

Конфигурация проточной части в области рабочего колеса и конической части отсасывающей трубы является еще одним предметом рассмотрения для разработки рекомендаций по реконструкции, когда предпринимается попытка увеличить мощность. Применение методов гидродинамического анализа дает возможность предложить конфигурацию проточной части (изменить меридиональные очертания ступицы рабочего колеса и конусной части отсасывающей трубы), позволяющую существенно снизить гидравлические потери в самом рабочем колесе и в отсасывающей трубе и изменить распределение относительных скоростей в межлопастных каналах и давлений по поверхности лопасти. Пульсации давления могут привести к резонансным вибрациям, если собственные частоты колеса совпадут с частотой основных возмущающих сил.

Значительные улучшения также могут быть получены в некоторых случаях благодаря незначительным изменениям профилей лопастей без замены рабочего колеса. На рисунке 6 показано увеличение эффективности, полученное на рабочем колесе турбины La Grande-3 в Квебеке, Канада (ввод в эксплуатацию в 1982 г.) путем небольшого срезания лопастей на выходе. Изменение проводилось только после проведения обширного CFD анализа потока через турбину.

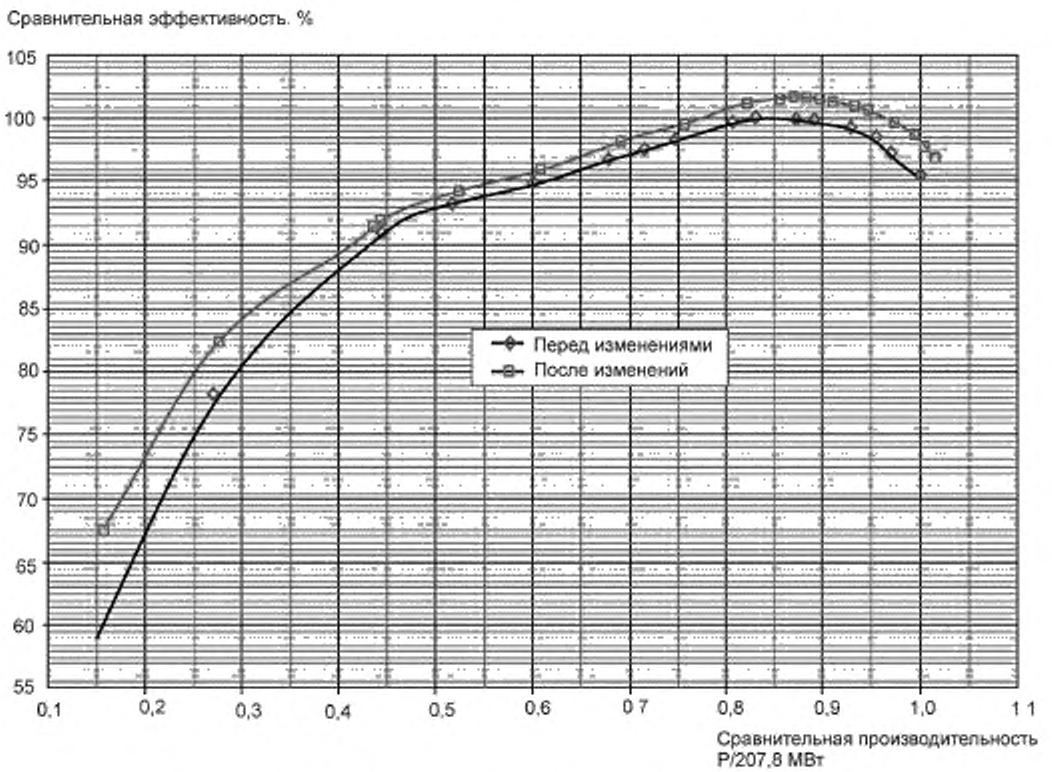

Рисунок 6 — Сравнительный прирост эффективности после изменения лопастей на рабочем колесе LA Grande 3, Квебек, Канада

В дополнение к преимуществам, получаемым после установки нового гидравлического профиля лопастей, можно также достичь увеличения эффективности за счет сокращения гидравлических фрикционных потерь рабочего колеса как в проточной части, так и снаружи на ободе и на ступице (дисковое трение) и объемных потерь при уменьшении зазора в уплотнении рабочего колеса.

Увеличение сравнительной эффективности при переходе от очень шероховатых к гладким поверхностям в проточной части может составлять от 0,2 % до 2 % в зависимости от текущего состояния старого рабочего колеса.

Может быть возможно использовать в будущем этот же метод для определения потерь, возникающих из-за шероховатости старых устройств. В качестве первой оценки, максимальный потенциальный коэффициент улучшения состояния поверхности может быть 2 % за 60 лет, 1,5 % за 40 лет и 1% за 20 лет, так как можно предположить, что большинство повреждений первоначальной поверхности рабочего колеса связаны с продолжительностью срока службы. Эти улучшения не были бы достижимы, если бы рабочее колесо изготовлено из нержавеющей стали и эрозия частиц не была бы реальностью. Во время фазы 1 исследования реабилитации, можно предположить, что коэффициент улучшения от этого источника составляет 1 % за 60 лет, 0,50 % за 40 лет и 0,25 % за 20 лет. Для любых других фаз исследования рекомендуется воспользоваться экспертизой изготовителей или квалифицированных гидравлических лабораторий, чтобы получить лучшую оценку потенциальной прибыли от улучшения состояния поверхности внутри и вне рабочего колеса.

Потери от дискового трения рабочего колеса зависят от зазора между взаимодействующими вращающимися и неподвижными элементами конструкции, скорости вращения и степени шероховатости поверхности как вращающихся, так и неподвижных частей. Если один из этих параметров улучшить, то можно добиться снижения потерь. Изменения могут включать уменьшение зазора между наружной поверхностью ступицы и нижнего обода рабочего колеса и неподвижными элементами турбины, добавление антициркуляционной пластины между ступицей и крышкой турбины или снижение шероховатости поверхности на компонентах (крышка турбины, ступица рабочего колеса, обод и опорное кольцо).

Объемные потери в уплотнении рабочего колеса увеличиваются при увеличении зазора, вызванном эрозией, кавитацией и иногда износом из-за контакта. Повторная установка первоначальных зазоров с использованием более эффективной конструкции уплотнения, например, лабиринтное уплотнение вместо щелевого, может привести к сокращению потерь. Конструкцию уплотнения нужно повторно анализировать, чтобы определить оптимальный теоретический зазор, но его следует сравнивать с минимальным безопасным расстоянием, принимая во внимание следующие технические аспекты:

- деформации крышки турбины и нижнего кольца направляющего аппарата или опорного кольца под действием гидравлической нагрузки и сил реакции лопаток направляющего аппарата;
- механические допуски на рабочем колесе и на прилегающих неподвижных компенсационных кольцах;
- износ облицовки вала внутри подшипников, что приводит к износу уплотнений рабочего колеса;
- радиальные деформации компонентов рабочего колеса (в основном, обода) при нормальных нагрузках и при разгоне;
- деформации опорных подшипников турбины, включая деформации из-за случайной неравномерной нагрузки с серводвигателей, когда силы, действующие на рабочее кольцо, являются несбалансированными.

Конструкция уплотнений рабочего колеса и зазоры влияют на осевую силу в турбине. Увеличение осевой силы приведет к большим потерям на опорно-упорном подшипнике, поэтому может быть полезным рассмотреть добавление дефлектора для ограничения рециркуляции протечек уплотнения обода, тем самым снижая нагрузку давления на ободе рабочего колеса. Также следует рассмотреть соотношение пропускной способности разгрузочных отверстий в ободе рабочего колеса или разгрузочных трубок и утечек через уплотнение верхнего обода. Через систему разгрузки утечки через уплотнение верхнего обода отводятся за рабочее колесо в отсасывающую трубу . Типичным является соотношение 5 к 1.

В таблице 25 приведены данные по потенциальному улучшению эффективности, которое можно получить от восстановления или изменения конструкции уплотнений рабочего колеса радиально-осевой турбины, в первую очередь от восстановления первоначальных зазоров в уплотнениях рабочего колеса. Диапазон потенциальных прибылей принимает во внимание большое количество случаев повреждений уплотнений, включая эрозии и серьезный износ. Таблицу следует использовать, имея представление об особенном случае, как указано ниже, и только для первоначальных оценок потенциальной прибыли после проведения ремонта или изменения конструкции самой изоляции.

Эти улучшения эффективности определяются как разница между эффективностью турбины с изношенным уплотнением рабочего колеса, и турбины с новым заменяемым рабочим колесом или отремонтированным рабочим колесом без других изменений. Эти улучшения эффективности представляют собой приблизительные значения для использования только во время первоначального анализа реализуемости. Потери эффективности от уплотнения рабочего колеса не являются постоянными при разных скоростях как показано на рисунке 5. При низких удельных скоростях турбины потери при износе уплотнения могут быть гораздо больше, чем при высоких удельных скоростях турбины, из-за разного распределения давления по высоте уплотнения.

Таблица 25 — Потенциальное влияние конструкции и состояния уплотнений рабочего колеса на эффективность радиально-осевой турбины с заменой рабочего колеса или ремонтом рабочего колеса (%)

Компонент изоляции	Изменение или замена
Ступица	0,2 до 2,0*
Обод	0,2 до 2,0*
* Зависит от состояния износа существующей изоляции или от удельной скорости турбины.	

Если не принимать во внимание особые случаи очень большого абразивного износа уплотнения рабочего колеса, можно сказать, что для первоначальной оценки потенциальная прибыль от ремонта и улучшения характеристик уплотнения рабочего колеса может составлять порядка 0,5 % для каждого уплотнения (ступицы и обода); потенциальная прибыль от замены рабочего колеса может быть взята как значения из таблицы 24 плюс 1,0 % 60-летней турбины, 0,75 % для 40-летней и 0,5 % для 20-летней.

В таблице 26 показана общая прибыль, которая ожидается при первоначальной оценке замены радиально-осевой турбины, принимая во внимание все аспекты, включая усовершенствование профиля, ремонт уплотнений и восстановление поверхности проточной части на ступице, лопастях и ободе, а также внешних поверхностей рабочего колеса.

Таблица 26 — Потенциальный общий прирост эффективности от замены рабочего колеса радиально-осевой турбины, включая усовершенствование профиля лопастей, восстановление состояния поверхности и сокращение потерь от уплотнений

Потенциальная прибыль от эффективности радиально-осевой турбины (конец периода в 2000)			
Возраст устройства	60 лет	40 лет	20 лет
Усовершенствование профиля	2,2 %	1,0 %	0,5 %
Восстановление состояния поверхности	1,0 %	0,5 %	0,25 %
Снижение потерь от уплотнений	1,0 %	0,75 %	0,5 %
Общая потенциальная прибыль	4,2 %	2,25 %	1,25 %

Значения таблицы 26 приведены для случая с заменой рабочего колеса радиально-осевой турбины. Увеличение эффективности иногда может быть выполнено путем изменения лопастей существующего рабочего колеса, как указано на рисунке 6, без замены рабочего колеса. Однако общая потенциальная прибыль может ожидаться меньше, чем значения в таблице 26.

Дополнительная потенциальная прибыль при изменении других компонентов турбины описывается в следующих подпунктах.

7.3.4.3.3 Усовершенствование других компонентов турбины

Таблица 27 представляет собой данные о потенциальных увеличениях эффективности путем ремонта или замены других компонентов водотока для старых турбин (от 50 до 60 лет). Потенциальное увеличение эффективности показано из двух источников; усовершенствование поверхности и изменение или замена компонента. Замена или не замена рабочего колеса турбины не рассматривается при оценке потенциальной прибыли. Однако большинство исследований рассматривают замену рабочего колеса как первый вариант. Замена рабочего колеса обычно оказывает большое влияние на рабочие характеристики турбины и само рабочее колесо обычно имеет более короткий срок службы, чем остальные компоненты турбины. Потенциальное увеличение эффективности, представленное здесь, это приблизительные значения, которые должны быть использованы в предварительном анализе реализуемости. Для проведения детального анализа реализуемости, следует связаться с изготовителями турбин для получения удельных значений потенциального улучшения эффективности для изучаемого устройства.

Таблица 27 — Потенциальное дополнительное улучшение эффективности при ремонте/замене других компонентов проточной части радиально-осевой турбины (%)

Компонент водотока	Усовершенствование	Изменение или замена
Турбинная камера	0,3	
Статор	0,2	От 0,1 до 2,0
Направляющий аппарат	От 0,2 до 1,0**	От 0,2 до 1,0**
Отсасывающая труба	0,3	От 0,3 до 1,0*

* Зависит от формы первоначальной отсасывающей трубы и удельной гидравлической энергии (напора) станции. В крайних случаях может быть до 2,0 %.

** В крайних случаях это улучшение может составлять до 2,0 %.

Так как изменение турбинной камеры или ее замена для снижения потерь не является возможной для всех станций, встроенных в цемент, единственной мерой по усовершенствованию поверхности является анализ затрат и выгод.

Статор нельзя просто заменить и это делается крайне редко, но его форму можно легко изменить для сокращения потерь. Потенциальное увеличение эффективности вследствие изменения статора определяется посредством анализа CFD и подтверждается тестированием модели, хотя экономический анализ не является обязательным для определения реализуемости. Изготовитель турбин также может провести анализ CFD. Данный анализ может указать на вероятность изменения статорных колонн для снижения потерь. Статор является очень важным структурным компонентом и поэтому необходим тщательный структурный анализ перед проведением любых изменений. Иногда считается, что изменения турбинных камер могут улучшить поток от турбинной камеры к статору за счет установки параллельных пластин. Например, классический статор (со сходящимися колоннами) может быть изменен на статор типа Пике с параллельными пластинами для случая с максимальным увеличением расхода. Изменения профиля потока и угла статорных колонн также могут быть приняты во внимание. Повреждения поверхности также могут привести к увеличению потерь, а усовершенствование состояния поверхности статорных колонн и пластин может оказаться благоприятным.

Кроме рабочего колеса турбины, лопатки направляющего аппарата являются дальнейшими компонентами, которые представляют экономическую возможность для улучшения рабочих характеристик путем замены. Использование более прочных материалов для лопаток направляющего аппарата может обеспечить снижения толщины тела направляющей лопатки и улучшить ее гидравлическую форму. При условии, что новые лопасти имеют такой же диаметр цапфы, изменение лопаток направляющего аппарата не повлечет значительных изменений крышки турбины или опорного (фундаментного) кольца. Однако следует отметить, что в дополнение к изменению формы лопаток направляющего аппарата может потребоваться увеличение максимального угла открытия для достижения максимальной мощности, и это потребует детального пересмотра гидравлического момента на лопатках направляющего аппарата и хода, а также мощности серводвигателей.

Повреждение поверхности лопаток направляющего аппарата также приведет к увеличению потерь, и если их восстановить, усовершенствование поверхности приведет к снижению потерь.

Роль отсасывающей трубы в общих потерях мощности турбины различна и зависит от площадки, а также не всегда объясняется сроком эксплуатации (см. рисунок 5). Анализ CFD является крайне важным для определения реализуемости любых предлагаемых изменений. Повреждение поверхности отсасывающей трубы приводит к увеличению потерь, хотя этот эффект обычно является вторичным по отношению к очень плохой конструкции, особенно у очень старых машин.

Изменения для улучшения характеристик могут быть ограничены только механическими компонентами, но они также могут предполагать, если это экономически оправдано, значительные изменения в профилях отсасывающей трубы. Как указано выше, для достижения лучших результатов, подрядчикам, решившим участвовать в тендере на проведение ремонтных работ, будут доступны детальные чертежи всего существующего оборудования, включая отсасывающую трубу и любые устройства по улучшению потока.

Для улучшения профиля скорости некоторых из ранних прямоугольных конструкций отсасывающей трубы иногда возможно провести незначительные изменения бетонной части конструкции отсасывающей трубы, обеспечивая значительные улучшения рабочих характеристик при больших расходах.

Рисунок 7а показывает схему различных улучшений, полученных для различных степеней вмешательства на радиально-осевых турбинах. Точки (на рисунке 7а) между 1908 г. и 1955 г. взяты из японского опыта и основаны на тестах эффективности до и после ремонта с использованием дифференциальных методов. Точки между 1978 и 1998 — взяты из европейских и северо-американских случаев и основываются на сравнительных тестах моделей на радиально-осевых рабочих колесах со старыми и новыми гидравлическими профилями, но без учета влияния уплотнений рабочего колеса при сравнении, две конструкции таким образом представляют собой потенциальное увеличение количества лопастей и изменения профиля, без улучшения состояния поверхности или уплотнения рабочего колеса. На данном рисунке, добавленная кривая основывается на оценках, представленных в последней строчке таблицы 26.

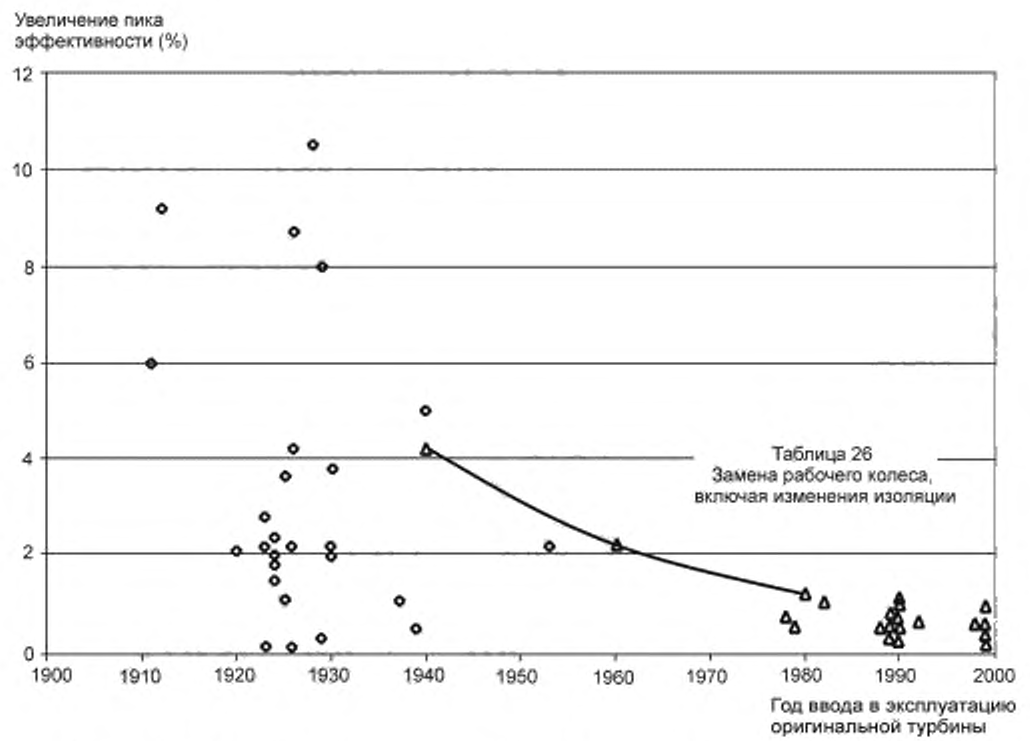

Рисунок 7а — Потенциальные усовершенствования для ремонта радиально-осевой турбины

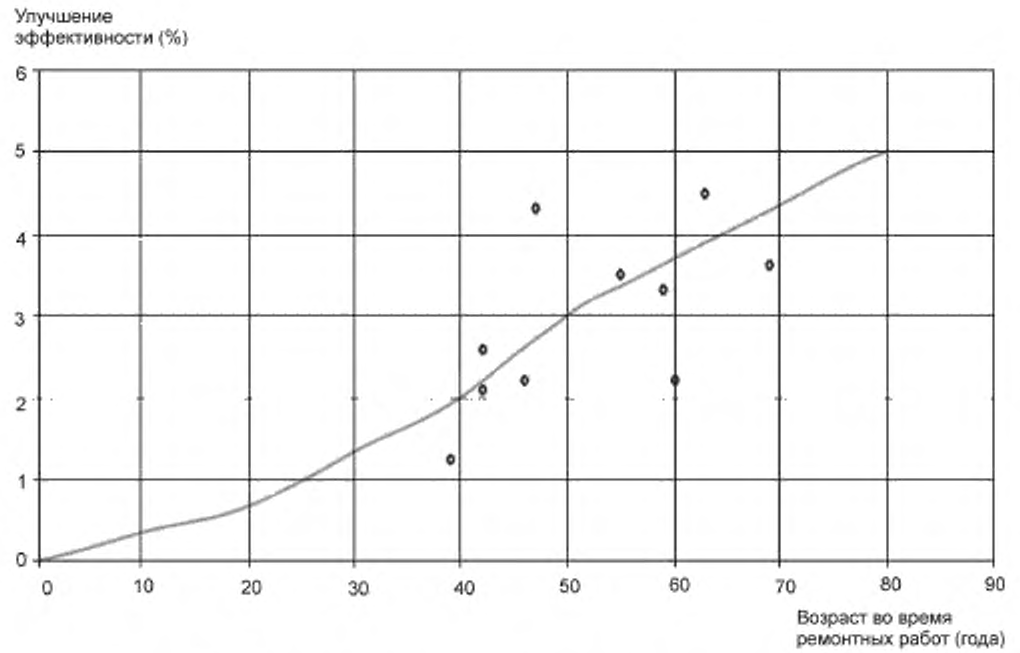

Рисунок 7b — Потенциальные усовершенствования для ремонта турбины Каплана

Потенциальная выгода от изменения других компонентов также будет рассмотрена, но она зависит от условий площадки и редко рассматривается в фазе 1 исследования реализуемости ремонтных работ турбины.

Читатель должен обратить внимание на то (рисунок 7a), что имеется много случаев, когда улучшения, которые можно ожидать в соответствии с вышеприведенной информацией, не были достигнуты и это подчеркивает необходимость иметь соответствующую экспертизу, посвященную исследованием перед началом ремонтных работ во всех случаях.

Рисунок 7b представляет собой схему улучшения эффективности поворотно-лопастной турбины Каплана после замены рабочего колеса турбины и опорного кольца, основанную на шведском опыте проведения ремонтных работ. Некоторые из отремонтированных машин теперь имеют опорные кольца, которые являются сферическими по всей поверхности турбинной камеры. Такие вмешательства могут быть экономически неоправданными во всех случаях, где опорное кольцо встроено, как это было в машинах до 1960 г. Было использовано несколько методов оценки увеличения эффективности и читатель должен знать, что каждый метод имеет собственные неточности.

Как отмечалось выше, повреждения поверхности компонента турбины могут иметь значительное влияние на его эффективность. В порядке потенциальной значимости, компонентами, оказывающими влияние на эффективность, являются рабочее колесо, направляющий аппарат и статор. Меньшие, но потенциально значимые последствия, возникают также из-за повреждения поверхностей турбинной камеры и отсасывающей трубы. В [1] установлен метод оценки влияния состояния поверхностей. Его пределы применимости являются очень строгими, однако так как данная публикация выполнялась для разрешения оценки, состояние поверхностей моделей турбины и соответствующих прототипов, принимались как оба в «новом» состоянии (предсказания характеристик прототипа с модельных тестов). Ремонт поверхностей рабочего колеса и лопаток направляющего аппарата или их замена почти всегда является экономически оправданными. Очистка и покраска статора, крышки турбины и опорного кольца, контактирующих с потоком, также обычно оправданы. Очистка и покраска других поверхностей водотока турбинной камеры и отсасывающей трубы может быть оправдана, иногда для снижения потерь и иногда для остановки коррозии/эрозии материла.

Считается целесообразным составить план ремонта станции, когда планируется использовать наплавочные материалы.

7.3.4.4 Гидравлическая нестабильность

7.3.4.4.1 Основные положения

Указанный режим охватывает три основные категории:

- резонансы, вызванные наличием вихрей Кармана;
- взаимодействие рабочего колеса и направляющего аппарата;
- нестационарность потока за рабочим колесом.

7.3.4.4.2 Резонансы, вызванные наличием вихрей Кармана

Резонансы, вызванные вихрем Кармана, обычно имеют три источника: вихри, вызванные колоннами статора; вихри, вызванные лопатками направляющего аппарата, и вихри, вызванные лопастями рабочего колеса. Частота и интенсивность таких вихрей зависят от режима работы турбины и толщины и формы обтекаемых элементов. Поэтому если ремонтные работы производят в том числе и с целью возможности увеличения максимальной нагрузки, они могут привести к изменению частоты и интенсивности вихрей Кармана (частоту вибраций) и вызвать резонансное состояние, которое ранее не существовало.

Вибрации, причинами которых являются пульсации давления от вихрей, вызванных колоннами статора, часто имеют достаточно низкую частоту, которая вступает в резонанс с одним из режимов вибрации статорных колонн и таким образом, увеличивает вероятность образования трещин в статорных колоннах в местах соединения их со статорным кольцом, особенно в низконапорных турбинах. Частота вызванных колебаний может быть от едва уловимой до низкой слышимости (например, от нескольких Гц до 50 Гц). Решением данной проблемы является изменение формы выходной кромки статорных колонн.

Частота возмущающих сил, связанная с образованием вихрей, сходящих с лопастей рабочего колеса, лопаток направляющего аппарата и колонн статора, линейно зависит от скорости потока и может быть приближенно вычислена по формуле

$$f = Sh\left(\frac{v}{d}\right),$$

где Sh — число Струхаля (зависит от формы выходной кромки профиля);

v — скорость жидкости за выходной кромкой;

d — толщина выходных кромок лопастей рабочего колеса, лопаток направляющего аппарата и колонн статора.

Резонанс, причиной которого являются вихри, вызванные лопатками направляющего аппарата, встречается реже, так как соотношение скорости жидкости на выходе из направляющего аппарата и толщиной выходной кромки лопаток направляющего аппарата таково, что воздействие выходной кромки на поток невелико. Если такие пульсации все же появляются для машин средних и крупных размеров они имеют низкую частоту в пределах например, от 20 до 100 Гц. Если такая проблема возникает, решением ее, также как и в случае со статорными колоннами, является изменение формы выходной кромки.

Третий возможный источник вихрей Кармана — это выходная кромка лопастей рабочего колеса турбины. Воздействие пульсирующего потока на поверхности лопасти рабочего колеса реактивной турбины (осевой или радиально-осевой) зависит от режима работы турбины.

На режимах с малой степенью закрутки частота пульсаций на лопастях и за рабочим колесом, близка к частоте вращения (оборотной). На режимах с большой степенью закрутки, где наблюдается вихреобразование («вихревой жгут»), частота пульсаций за рабочим колесом составляет около 20 %—60 % оборотной и соответствует частоте вращения «жгута». Частота вращения «вихревого жгута» зависит от режима работы турбины. По данным исследований выявлена тенденция к увеличению частоты вращения «жгута» на режимах, близких к оптимальным. Воздействие пульсирующего потока на рабочее колесо воспринимается с частотами примерно 70 %—80 % и 143 %—146 % оборотной. На лопастях рабочего колеса имеют место также частоты, кратные оборотной (с кратностью 5—8 и 15—20).

Частоты натурных колес часто отличаются от расчетных значений, полученных анализом метода конечных элементов или экспериментально при вибрационных испытаниях в воздухе. Поэтому не возможно однозначно предопределить наступление резонанса.

Для оценки отстройки собственных частот от частот основных возмущающих сил проводят модельные вибрационные исследования в воздухе и воде. Полученные собственные частоты пересчитывают на натурное колесо в воде. Сравнивая частоты возмущающих сил, являющихся наиболее опасными с точки зрения усталостной прочности лопастей, с ближайшей к ней собственной частотой, определяют условия для обеспечения надежной работы турбины. Одновременно с собственными частотами в процессе испытаний модели определяют резонансные напряжения на указанных частотах, которые используются для расчета эквивалентной частоты динамических напряжений. Расчет коррозионно-усталостной прочности позволяет произвести оценку возможности трещинообразования, связанного с действием вихрей Кармана.

Рекомендуется запросить у поставщиков турбинного оборудования спецификацию для установления возможных вынужденных частот, которые могут существовать в рабочем колесе и данных о собственных частотах натурного колеса в воде. Следует избегать сочетания толщины и формы ступицы, лопасти и обода, которые подвергали бы новую конструкцию возможному резонансу или создавали проблемы с вынужденным резонансом.

Следует отметить, что в новых рабочих колесах, выполненных из высокопрочных материалов, толщина лопастей выходной кромки лопастей имеет тенденцию к уменьшению, что способствует увеличению частот возмущающих сил, связанных с образованием вихрей Кармана. С другой стороны, основная гармоника собственных колебаний колеса представляет собой низкочастотную составляющую и близка к оборотной частоте, что увеличивает возможность возникновения резонансной вибрации. В рабочем колесе вынужденные частоты находятся в диапазоне от 50 до 1000 Гц. Эту проблему можно устранить путем изменения скошенной выходной кромки непосредственно на площадке. Это проблема, которую можно решить во время ввода в эксплуатацию и которая не должна повлиять на долгосрочную эксплуатацию отремонтированного устройства.

7.3.4.4.3 Взаимодействие рабочего колеса и направляющего аппарата

Вибрации вынужденного резонанса при взаимодействии рабочего колеса и направляющего аппарата обусловлены взаимодействием возмущающих сил, возникающих при обтекании как лопастей рабочего колеса, так и лопаток направляющего аппарата. Эта «проблема» наиболее актуальна для радиально-осевых турбин, работающих на средних и высоких напорах, для которых характерна малая величина зазора между выходными кромками лопаток направляющего аппарата и входными кромками лопастей рабочего колеса. Предлагаемая конструкция по условиям подобия соответствует образцу, прошедшему опыт успешной эксплуатации, и что любые изменения подверглись серьезным теоретическим и экспериментальным исследованиям и являются надежными и безопасными. При реконструкции гидротурбин необходимы значительные изменения конструкции или даже создание нового рабочего колеса.

7.3.4.4.4 Пульсации гидравлического давления

Пульсации гидравлического давления в отсасывающей трубе радиально-осевой турбины, как и любой реактивной турбины, возникают при работе на режимах, отличных от оптимального (зоны с максимальным КПД). Со времени зарождения технологии турбиностроения проектировщики и изготовители стремились уменьшить обратные течения и разрежение за рабочим колесом, чтобы расширить диапазон режимов эффективной работы турбины. Остается актуальной вероятность возникновения пульсаций, создаваемых рабочим колесом, с последующим резонансом во всем проточном тракте турбины. Возможные резонансы невозможно определить экспериментально, даже если бы пришлось смоделировать всю гидравлическую систему.

Исследования по определению возможных резонансных частот должны проводиться с учетом всего проточного тракта турбины от верхнего бьефа до нижнего: от водоприемника через напорный водовод, шлюз, уравнительный резервуар, направляющий аппарат, турбинную камеру, отсасывающую трубу и отводящий водоток, смотря что из них применяется на каждой площадке. Частота вынужденных колебаний, вызванных рабочим колесом зависит от конструкции и нагрузки и обычно находится в диапазоне от 25 % до 100 % от ротационной (оборотной) частоты рабочего колеса. При малых нагрузках возникают низкочастотные вынужденные колебания в отсасывающей трубе. Высокие нагрузки создают высокие частоты. В сложных гидравлических системах затруднительно определить все возможные резонансы. Если ремонтные работы предполагают увеличение мощности агрегата, то изменится диапазон частот вынужденных колебаний и появятся новые резонансные частоты, которых прежде не существовало.

Самым обычным решением проблемы гидравлического резонанса является изменение собственной частоты колебаний отсасывающей трубы путем впуска или инжекции воздуха. Эффекта можно добиться двумя способами. В первом случае форма и частота «вихревого жгута» за рабочим колесом в отсасывающей трубе (вынужденная частота колебаний) изменяется, когда подводится воздух, второй заключается в том, что резонансная частота самой отсасывающей трубы изменяется из-за изменения характеристик двухфазного потока (вода и воздух). Следует с осторожностью применять данный метод стабилизации потока, так как в сложных гидравлических системах впуск воздуха может как устранить резонанс, так и способствовать его возникновению. Другим важным фактором является то, что когда количество впускаемого воздуха превышает 1,5 % (стандартная температура и давление) от расхода турбины, это приводит к снижению КПД турбины, особенно в оптимальной зоне. Поэтому важно не подавать воздух при нормальной скорости открытия лопаток направляющего аппарата, если это не требуется для устранения резонанса. Впуск воздуха в отсасывающую трубу на нерасчетных режимах может иметь благоприятное воздействие на эффективность турбины.

Следует иметь в виду, что при больших заглублениях радиально-осевых турбин и особенно турбонасосов (обратимых агрегатов) воздух из атмосферы почти не поступает и для эффективного влияния на пульсации потока требуется его принудительная подача.

Используют различные типы выпрямителей потока в отсасывающей трубе (крестовины или ребра) при этом, снижение КПД турбины меньше, чем при впуске воздуха, однако они могут быть спроектированы оптимально только для небольшого диапазона расходов.

7.3.4.4.5 Колебания мощности или частоты

Колебания мощности или частоты могут возникнуть при частотах, вызванных пульсациями давления в отсасывающей трубе, особенно, если они находятся в резонансе с гидравлической системой трубопроводов. Влияние пульсаций давления в отсасывающей трубе на гидростатическое давление в спиральной камере приводит к колебаниям напора турбины, следовательно, и мощности. Такие случаи чаще всего вызваны типом пульсаций в отсасывающей трубе, возникающих при высоких нагрузках и обычно могут быть устранены путем уменьшения пульсаций давления способами, описанными выше.

Колебания мощности или частоты при меньших частотах могут быть связаны с неправильным выбором параметров регулятора. На станции, где имеется намерение увеличить максимальную нагрузку постоянная времени агрегата изменится. Поэтому необходимо уточнить параметры регулятора для приемлемого регулирования на всех режимах работы электростанции (изолированная работа или в системе). Переходные процессы также должны быть проверены (изменение давления и частоты вращения). Увеличение максимального расхода обычно означает, что максимальная скорость закрытия направляющих лопаток будет уменьшаться, чтобы избежать чрезмерного повышения давления в водоводе и спиральной камере. Это приводит к увеличению разгонной частоты вращения при полном сбросе нагрузки, что должно соответствовать допустимым значениям разгонного числа оборотов и параметрам устройств защиты от разгона. Обычно вращающиеся части проектируют с учетом самых тяжелых условий разгона, тем не менее должна быть проведена дополнительная проверка и получено подтверждение надежности работы агрегата в процессе регулирования.

7.4 Оценка вспомогательного оборудования

7.4.1 Основные положения

В процессе ремонта турбины необходимо оценить влияние ремонтных работ на все оборудование и хозяйственные структуры гидроэлектростанции.

Необходимо рассмотреть две различные категории оборудования:

- вспомогательное оборудование, на которое ремонт турбины оказывает непосредственное влияние, например, генератор, регулятор, маслонапорная станция, сливные клапаны, отсечные затворы, клапан срыва вакуума, холостой выпуск, уравнительный резервуар, напорный водовод, отводящий канал;

- оборудование, требуемое для технического обслуживания и ремонта устройств и прочего оборудования, например, кран-балки, приспособления для ремонта и монтажа оборудования и инструменты.

Влияние ремонта турбины на вспомогательное оборудование будет определяться оценкой следующих критериев:

- режим работы (например, увеличение количества остановок/пусков в день может потребовать модернизации опорно-упорного подшипника, а также тормозного/подъемного оборудования);

- переходные режимы при изменении нагрузки, особенно при увеличении расхода (увеличение скорости вращения агрегата и повышение давления);
- пригодность регулятора;
- увеличение осевой силы из-за изменения конструкции нового рабочего колеса (может возникнуть необходимость модернизации системы охлаждения опорно-упорного подшипника);
- разгонная частота вращения нового рабочего колеса (напряжения в элементах вращающихся частей и соотношение с предельной разгонной частотой вращения);
- риск возникновения новых пульсаций потока из-за новой конструкции рабочего колеса, особенно для радиально-осевых турбин и обратимых агрегатов;
- увеличение уровня нижнего бьефа при увеличении пропускной способности турбины, которое оказывает влияние как на напор турбины, так и на высоту отсасывания (заглубления) турбины;
- влияние на величину напора при увеличении максимальной пропускной способности турбины (увеличение гидравлических потерь в водоводах, проточном тракте, отводящем канале);
- мощность клапана сброса давления, необходимая для ограничения максимального давления и частоты вращения при сбросе нагрузки (если это устройство применяется);
- работоспособность гидравлического затвора и системы управления затвором.

Вспомогательное оборудование, возможно, будет нуждаться в модернизации, как и сама турбина. Оценка вспомогательного оборудования не описывается подробно в настоящем стандарте, однако отмечаются некоторые аспекты, касающиеся непосредственного влияния нового рабочего колеса и возможных изменений режимов работы на электрической станции.

Следующее вспомогательное оборудование должно быть оценено:
- регулятор (см. таблицу 28);
- упорный подшипник (см. таблицу 29);
- шлюз и впускные клапаны турбины (см. таблицу 30);
- строительные работы (см. таблицу 31);
- кран, подъемное оборудование (см. таблицу 32).

Таблица 28 — Оценка вспомогательного оборудования — регулятор

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Соответствие	Увеличение хода для игл/направляющих лопаток Увеличение максимальной мощности из-за увеличения расхода (пропускной способности) Изменение в характеристиках закрытия с новым профилем направляющего аппарата (н.а.), или изменение хода сервомотора н.а., или времени закрытия	Модификация или замена сервомотора н.а. Модификации в системе подачи масла от маслонапорной установки (МНУ) Замена/регулировка направляющего аппарата Изменение первичных параметров регулятора или настроек обратной связи
Функционирование	Различный режим работы, например, прямой контроль промышленной частоты сигнальной системой управления Контрольные модификации, необходимые группе операций Автоматизация для дистанционного управления Управление в изолированной сетке или отделенной на локальную нагрузку Необходимые модификации механической инерции или гидравлической постоянной для стабильного управления	Корректировка параметров регулятора Замена регулятора (например, механического на электронный или на систему, основанную на Программируемом Логическом Контроллере (ПЛК)) Интеграция функций регулятора в контролирующей системе управления Установка электрического устройства потребления энергии для обеспечения минимальной нагрузки в целях достижения или улучшения стабильности Добавление эффекта маховика Уменьшение скоростей заменой всех или части водоводов

Таблица 29 — Оценка вспомогательного оборудования — упорный подшипник

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Увеличение мощности	Увеличенная максимальная производительность турбины	Проверка передающих компонентов крутящего момента Модификация или замена передающих компонентов крутящего момента Проверка обмотки статора Перемотка статора генератора Реабилитация системы возбуждения генератора Проверка системы охлаждения генератора Модификации поверхности воздушного охлаждения (основные охладители генератора)
Гидравлическая осевая сила	Новое проектирование рабочего колеса Новые диаметры уплотнений колеса или меньшие зазоры	Установка устройств или систем для выравнивания давления, чтобы уменьшить осевое усилие Модификация упорного подшипника Модификация системы охлаждения упорного подшипника Добавление системы впрыска масла под высоким давлением для запуска-остановки
Увеличение максимальных допустимых переходных забросов оборотов	Увеличение максимальной мощности блока с уменьшением скорости закрытия направляющей лопатки (увеличенное время закрытия)	Увеличение механической инерции блока Адаптация двухскоростного закрытия направляющей лопатки турбины
Увеличение переходной скорости или разгонной частоты вращения)	Новое проектирование рабочего колеса Увеличение максимального открытия направляющей лопасти	Проверки и модификации вала, крестовины ротора, ободов, полюсов, направляющих и опор направляющих
Критическая частота вращения (поперечные или крутильные колебания)	Увеличение разгонной частоты вращения к первой критической скорости агрегата, связанное с установкой нового рабочего колеса	Анализ критической скорости Модификация вращающихся частей Модификация направляющих или их опорных систем Добавление дополнительной направляющей

Таблица 30 — Оценка вспомогательного оборудования — шлюз и впускающие клапаны турбины

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Гидравлический резонанс с пульсирующим давлением, порожденным турбиной	Новое рабочее колесо, изменение частоты «вихревого жгута» Модифицированная отсасывающая труба Взаимодействие направляющих лопастей и лопастей рабочего колеса	Анализ расчетной гидродинамики и анализ нестационарных потоков Установка системы или устройства для подавления вихрей и/или модификация частоты возбуждения Всасывающая воздухоприемная или впрыскивающая труба Модификации водопроводящей системы

Окончание таблицы 30

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Повышение переходного гидравлического давления	Повышение давления в связи с высокой скоростью закрытия направляющей лопатки/иглы при новом максимальном расходе	Модифицировать характеристики закрытия направляющей лопатки/иглы Оценить эффект увеличения скорости при более медленном закрытии направляющей лопатки Модификации водопроводящей системы (замена или усиление шлюза)
Структурная целостность впускного клапана турбины	Увеличенный максимальный расход или модифицированное время закрытия в результате увеличения максимального рабочего давления	Структурные модификации клапана Сокращение скорости закрытия клапана или использование многоскоростного закрытия с ограничением переходных эффектов при проектировании
Функциональная пригодность впускного клапана турбины	Увеличение количества запусков и остановок блока	Модификация клапана и его рабочей системы, чтобы он мог выдерживать более частые нагрузки
Мощность вентиляционной системы шлюза для экстренного закрытия затвора водоприемника, когда последний выступает в роли устройства, прерывающего поток	Увеличение прерывания расхода в виду увеличения максимального расхода турбины	Увеличение количества или размера воздушных клапанов
Пригодность защитных клапанов шлюзов	Увеличение максимального рабочего давления в связи с увеличением гидравлических переходов	Модификация/замена клапана Новый нефтяной серводвигатель Новое уплотнение
Пригодность затворов отсасывающих труб турбины	Увеличение расхода в нижнем бьефе как устойчивого, так и переходного, в связи с увеличением максимального расхода	Модификации клапана или затвора

Таблица 31 — Оценка вспомогательного оборудования строительных работ

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Увеличение потери напора в канале/туннеле верхнего бьефа	Увеличение максимального расхода Неисправность или заклинивание канала/туннеля верхнего бьефа	Ограничение скорости запуска рампы или скорости загрузочной рампы Ограничение максимальной разгрузки Очистка, выравнивание или модификация канала/туннеля
Потенциально более высокий уровень вариации в вышерасположенной уравнительной камере при загрузке и/или отказе от загрузки	Увеличение максимальной разгрузки Увеличение максимальной скорости открытия/закрытия направляющей лопасти/иглы	Ограничение скоростей изменения нагрузки Ограничение максимальной скорости закрытия направляющей лопасти/иглы Модификация уравнительной камеры

Окончание таблицы 31

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Потенциально более высокий уровень вариации в нижерасположенном уравнительном резервуаре при подборе загрузки и/или отказе от загрузки	Увеличение максимальной разгрузки Увеличение максимальной скорости закрытия направляющей лопатки	Ограничение доступа персонала к уравнительному резервуару Увеличить время закрытия направляющей лопатки для новой максимальной разгрузки Модификация уравнительного резервуара
Увеличение потери напора или уровня напора для устойчивого высокого разгрузка в отводящий туннель или канал	Увеличение максимального расхода	Экономический анализ с целью определения, являются ли улучшения оправданными для отводящего канала или туннеля Модификации канала или туннеля

Таблица 32 — Оценка вспомогательного оборудования — кран, подъемное оборудование

Аспекты к рассмотрению	Возможная причина	Возможные действия
Максимальная загрузка для подъема Правильное расположение пункта погрузки (кран или кронштейн) Безопасность функционирования (механическая и структурная целостность) крана	Увеличение веса новых компонентов блока Нерегулярное использование Нарушенная структура оборудования и регуляторов Коррозия и износ	Изучение/модификация крана Замена крана Ремонт и монтаж нового подъемного оборудования

7.4.2 Генератор и упорный подшипник

Гидравлическая осевая сила может измениться с установкой нового регулятора турбины или с новым проектированием уплотнителей регулятора с меньшими зазорами. Работоспособность упорного подшипника должна быть проверена с учетом изменения осевой силы. Возможно потребуется установка впрыскивающего масляного насоса высокого давления с целью уменьшения негативных последствий более частых пусков/остановок или рассмотрение возможности использования вкладышей упорного подшипника с неметаллическим покрытием. Для устойчивой повышенной пропускной способности турбины может потребоваться модификация подшипника или системы охлаждения масла.

Новый регулятор турбины в высоконапорной установке, если планируется увеличение максимальной скорости разгона, предусматривает повышенную уставку разгонной частоты вращения и увеличенную переходную скорость повышения давления в переходном процессе, которая может превышать уставку (заданную скорость) из-за избыточного переходного давления. Последнее может стать максимальной скоростью для генератора. В этой связи, необходимо определить новую уставку разгонной частоты вращения и новое максимальное значение разгонных оборотов. Это особенно важно, если есть нижерасположенный уравнительный резервуар, так как переходное превышение скорости может быть затруднено из-за снижения уровня в уравнительном резервуаре в то же время, когда дистрибьютор видит переходное увеличение давления.

Если число направляющих лопастей или ковшовых лопастей (в гидротурбине Пельтона) изменяется, то необходимо проверить зависимость между возбуждающей частотой и собственными частотами оборудования, в частности, для вращающихся частей.

Необходимо проверить соответствие соединительного фланца между валом генератора и регулятором турбины или валом турбины. Это необходимо для достижения соосности двух узлов с целью снижения механических колебаний. При замене крепежных болтов болтов использовать современные динамометрические ключи. Чтобы уменьшить опасность коррозионного растрескивания, крепежный контакт с водоводом, должен быть водонепроницаемым. Это особенно важно для горизонтального вала ковшовых гидротурбин (гидротурбин Пельтона).

В турбинах Пельтона (с горизонтальной или вертикальной осью) и направляющими на валу генераторами, поверхность вала часто подвергается воздействию воды, поэтому в таких местах необходимо тщательное обследование НК. Выявление опасности коррозионного растрескивания позволяет предотвратить более серьезные неполадки.

Увеличение мощности турбины может быть ограничено максимальной безопасной мощностью генератора, если его более высокая мощность не учитывалась при первоначальном проектировании. Мощность турбины может быть увеличена, если активные части генератора обновляются и существующие компоненты, такие как обмотки статора или ротора, регулярно проверяются при продолжительном использовании. Как правило, нет необходимости делать дорогостоящие изменения в строительных работах.

Генераторы с изоляцией обмоток класса Б имеют значительно большую толщину изоляции, чем современные системы класса Ф, основанные на эпоксидной смоле/слюде. Поэтому, если владелец решает установить новую изоляцию обмотки статора класса F, можно увеличить сечение медного проводника, что позволит увеличить мощность от 20 % до 30 %, без значительных модификаций генератора и без значительного увеличения рабочих температур обмотки. Можно рассматривать возможность проектирования новых полюсов, использование высокой пропускной способности слоев сердечника статора и немагнитных материалов для достижения конечной цели (крепления обмотки, модернизация полюсов, воздухонаправляющие устройства и т.д.).

Повышение эффективности системы охлаждения генератора, особенно лопастей, установленных на рабочем колесе и каналах, которые отвечают за охлаждение воздуха, позволяет увеличить производственные мощности в рамках существующих геометрических размеров с уменьшением вентиляционных потерь.

7.4.3 Регулятор турбины

Если направляющие лопасти или инжекторные иглы изменены или заменены или на турбине уставлен новый регулятор, что приводит к изменению максимального расхода турбины, то необходимо учитывать изменения параметров открытия/закрытия. Необходимо проверить размеры сервомоторов и, в частности их ходов и размеров маслоподводящих насосов и маслонапорной установки. Открытие холостого хода и увеличение скорости после сброса нагрузки может значительно меняться с новым регулятором турбины в реактивной турбине.

Увеличение максимального расхода турбины может привести к увеличению хода направляющих лопастей, инжекторной иглы или лопастей регулятора Каплана, что в свою очередь, требует учета характеристик сервомотора и маслонапорной установки.

Минимально допустимая длительная нагрузка на радиально-осевые турбины Фрэнсиса или насос-турбины (обратимые агрегаты) и на саму фиксированную лопасть осевой или ПЛ-турбины или на турбины Каплана в связи с малым расходом в отсасывающей трубе может значительно меняться с новыми регуляторами, что требует адаптации алгоритмов управления.

7.4.4 Впускные и выпускные затворы турбины, клапан сброса давления

Это оборудование того же срока службы, что и турбина, но обычно не так подвержено износу и коррозии, поскольку служит, главным образом, для переходных и резервных функций. Их механическая целостность и надежность работы должны быть исследованы таким же образом, как и прочие вопросы функционирования турбины.

Увеличение напора (удельной гидравлической энергии) турбины (повышение уровня верхнего бьефа или снижение уровня нижнего бьефа) или максимального расхода турбины потребует полной проверки конструкции клапана и его операционной системы и их способность работать надежно и безопасно при аварийном отключении.

Необходимо учитывать дополнительный аспект, а именно возможное увеличение трения в подшипниках или втулках разъема или затвора, вращающегося диска с течением времени. Если затворы остаются открытыми в течение длительного времени, то коэффициент трения в подшипниках или втулках может увеличиться из-за коррозии, загрязнения посторонними частицами или другими материалами, что приведет к снижению их надежности в условиях ситуации аварийного сброса нагрузки.

Если опорная система турбины изношена, то использование такого вспомогательного оборудования и опор, а также анкерных болтов должны быть полностью проверены.

7.4.5 Дополнительное оборудование

Стремление к повышению эффективности включает в себя сокращение потребления энергии вспомогательным оборудованием. Для достижения этой цели, моторы насосов и клапанов с высокими энергопотерями могут быть заменены.

Реконструкция генератора требует изменений в системе охлаждения воды для воздухоохлаждающих элементов генератора на поверхности. Расчет энергетического баланса наряду с оценкой затрат по эксплуатации и техническому обслуживанию покажут, что лучше использовать: отвод воды через насосную систему или отвод воды по вышерасположенному водоводу с применением устройства для снижения давления.

Одним из подходом к улучшению является замена смазочных материалов с высокой степенью вязкости на сопоставимые, имеющие более низкую степень вязкости, где это допускают технические требования к подшипникам. Можно рассматривать использование биоразлагаемых смазочных материалов и гидравлических жидкостей. Если тип смазочных материалов или гидравлической жидкости изменяется в пределах имеющейся гидравлической системы, такую систему необходимо тщательно промыть перед применением смазки нового типа, так как остаточные количества старого смазочного вещества могут быть не совместимы с новым продуктом. Совместимость любого нового продукта с резиновыми или полимерными уплотнениями, системой покрытия или материалами колес, клапанов и т. д., необходимо подтвердить. В случае использования биоразлагаемых смазочных материалов, необходимо удостовериться, что они не будут контактировать с водой, так как такой контакт может привести к разложению и преждевременному старению смазочных материалов.

Замена уплотнений вала турбины требует проверки надежности их охлаждения и смазки при подаче воды.

Изменения осевого гидравлического усилия турбины требуют проверки достоверности характеристик смазочного масла и охлаждающей системы упорного подшипника и его системы очистки масла от паров.

Поставка нового регулятора может потребовать изменений в системе аэрации отсасывающей трубы или ее замены. В некоторых случаях количество воздуха, необходимое для стабилизации работы установки, может быть достаточно, чтобы привести к дисбалансу систем отопления и вентиляции, особенно в случае подземной электростанции.

7.4.6 Оборудование для подъема, демонтажа и ремонта

Самым тяжелым подъемом, на который рассчитаны кран электростанции и подкрановые пути, является собранное рабочее колесо турбины и генератора. Оборудование необходимо для демонтажа турбины и генератора, будет происходить раз в десятилетия. Перед началом капитального ремонта необходимо проверить и испытать оборудование в работе и систему опор при номинальной нагрузке и проверить удержание груза и расположение самого крана.

Краны в машинном зале должны быть в состоянии справиться с любым увеличением расчетных нагрузок при новых и, возможно, более тяжелых узлах. Особое внимание должно уделяться проектированию крюка крана, подъемных штифтов и подъемных приспособлений для обеспечения их совместимости с существующими и новыми узлами.

7.4.7 Шлюзы и прочие водные каналы

Увеличение максимального расхода или удельной гидравлической энергии (напора) требует тщательного пересмотра гидравлических переходных процессов. Максимальное переходное увеличение давления будет увеличиваться пропорционально увеличению максимального расхода, если время поворота направляющей лопатки или смещения инжекторной иглы поддерживается постоянным. Такое исследование должно быть всегда основано на последних фактических измерениях увеличения давления и скорости, чтобы убедиться, что изменения в проектировании, которые были сделаны с начала эксплуатации, учтены, как и изменения в коэффициентах трения туннелей, шлюзов и клапанов. Это актуально для станций с длинными туннелями, уравнительными резервуарами или с другими конструктивными особенностями.

Пульсации давления в отсасывающей трубе турбины или вызванные взаимодействием лопаток направляющего аппарата и лопастей турбины, число которых может быть различным при новом проектировании, необходимо тщательно учесть и оценить.

Замена лопастей поворотно-лопастной гидротурбины (гидротурбины Каплана) с повышенным максимальным расходом требует проведения исследований гидравлических переходных процессов и их последствий для закладных частей.

Увеличение максимального расхода может привести к увеличению гидравлических потерь или воздухововлекающих вихрей при впуске воздуха. Это явление необходимо учитывать для устранения образования вихрей при перепроектировании.

Отсасывающая труба является важнейшим компонентом, если необходимо увеличить максимальный расход или мощность турбины при полной нагрузке. Это особенно важно для низконапорных электростанций (с низкой удельной гидравлической энергией). Таким образом, иногда стоит сделать CFD анализ, который включает отсасывающую трубу и отводящий канал с целью оптимизации отсасывающей трубы или формы канала.

7.4.8 Последствия изменений в гидравлической энергии станции (напоре)

В некоторых случаях гидравлические характеристики водотока менялись в течение годов эксплуатации, например:

- повышение уровня воды в верхнем бьефе с использованием щитов или других средств;
- снижение уровня воды в нижнем бьефе из-за эрозии русла реки или понижения или устранения щитов на нижерасположенной площадке.

Изменение уровня воды нижнего бьефа требует проверки высоты отсасывания (коэффициент Тома), чтобы обеспечить адекватную защиту от кавитационной эрозии. Это может также повлиять на частоту и интенсивность вихрей в лопастной системе турбины и на пульсации давления в самой отсасывающей трубе, которая в свою очередь, может быть источником гидравлического резонанса. Снижение уровня нижнего бьефа для данного расхода особенно важно в случае использования обратимых агрегатов, так как это может повлиять на защитные решетки при режиме накачки и повлияет непосредственно на NPSH (допустимый кавитационный запас).

8 Проектирование гидравлической конструкции и варианты оценки работы

8.1 Общие положения

После принятия решения о проведении работ по восстановлению гидротурбинной установки, рекомендуется рассмотреть все возможные варианты улучшений, которые могут быть сделаны с использованием новых технологических разработок, появившихся после создания существующей машины.

Это обычно приводит к разработке новой конструкции рабочего колеса и, в некоторых случаях, направляющего аппарата и новой модификации отсасывающей трубы.

Проектирование новой гидравлической конструкции может проводиться аналитическими методами вычислительной гидродинамики или испытаний с использованием модели в лабораторных условия, а чаще всего сочетанием обоих методов.

В настоящее время испытания с использованием модели являются лучшим способом подтверждения точности расчетов проектирования и, прежде чем приступать к созданию модифицированных опытных образцов, рекомендуется сначала провести испытания с использованием модели для всех крупных установок. Изменение гидравлической конструкции для любого типа насоса-турбины всегда следует планировать с использованием модели. Однако для небольших установок в качестве ориентира чаще используются имеющиеся результаты испытаний моделей сходной гидравлической машины.

Окончательный результат можно также проверить с помощью испытаний прототипа, однако, на данной стадии, возможность внесения изменений, в случае обнаружения затруднений, существенно ниже, чем на стадии испытаний с использованием модели до начала выбора прототипа. Испытание прототипа не является средством разработки, а скорее средством, позволяющим определить, насколько удачным является конструкция, в зависимости от контрактных обязательств.

Объем гидравлических исследований и испытаний с помощью модели будет определяться в зависимости от их примерной стоимости и необходимости, с учетом технической сложности проекта. Например, для крупных проектов примерная стоимость гидравлических исследований и испытаний с помощью модели будет мала по сравнению с общим объемом вложений, поэтому принимается решение о необходимых гидравлических исследованиях и испытаниях с помощью модели. Для небольших машин с хорошими результатами гидравлических испытаний аналогичных машин, минимальные натурные гидравлические испытания будут необходимы и достаточны. Для проектов среднего размера объем исследования будет определяться индивидуально.

Размер финансирования разработки определяется тем, «какова настоящая стоимость снижения эффективности работы оборудования, которое может произойти, если не проводить определенные гидравлические исследования и испытания с помощью модели?» Снижение эффективности работы оборудования — следствие уменьшения выходной кромки прототипа. Взяв за основу предполагаемый объем работы завода, можно оценить примерный результат снижения эффективности работы оборудования на 0,5 % и на 1,5 %, сравнив его со стоимостью проведения гидравлических исследований и испытаний с помощью модели или обоих методов исследования.

Данный процесс начинается на стадии технического обоснования: объем, характеристики и особые детали каждого отдельного проекта должны быть приняты во внимание. Выявление технических трудностей для каждого проекта на стадии технического обоснования требует определения затрат производителей на выполнение различных вариантов и оценки использования гидравлических испытаний на стадии проектирования.

Исследование с помощью модели проводится после подписания контракта с определенным подрядчиком. В случае особо крупных проектов некоторые владельцы предпочитают проводить тщательные гидравлические исследования и испытания с помощью модели на стадии детального изучения проекта, заключив контракт или несколько с потенциальными подрядчиками, результаты работы которых позже проверяют в независимой лаборатории. При этом необходимо запросить от подрядчика потенциальную прибыль, стоимость гидравлических исследований и испытаний с помощью модели и стоимость поставки рабочего колеса и восстановления всей турбины. Таким образом, можно определить разницу стоимости выполнения исследований независимо от общей стоимости проекта.

Чтобы сконструировать новые детали для старых машин, особенно рабочих колес, смежные элементы существующей проточной части необходимо включить в моделирование потока. Что типично для восстановления и модернизации существующих турбин, где большую часть старых деталей не заменяют. Спрогнозировать работу новых деталей возможно только с учетом взаимовлияния существующих деталей. Таким образом, воспроизведение точной формы и состояния старых деталей во время моделирования потока и испытания с использованием модели можно использовать при изготовлении точной числовой модели данных деталей.

8.2 Расчет гидравлической конструкции

8.2.1 Основные положения

Для того, чтобы расчет гидравлической конструкции оказался экономически целесообразным, его следует проводить, учитывая следующие вопросы.

Выбор программного обеспечения:

a) программное обеспечение (2D или 3D, вязкая жидкость или без учета вязкости, стационарный или нестационарный поток) должно выбираться с учетом детали для расчета и общей стоимости проекта;

b) объем расчетной части:

1) расчет всей турбины или только необходимых компонентов;

2) расчет существующей турбины или восстановленной турбины, или обеих.

Выбор программного обеспечения, а также определение объема вычислений будет проводиться индивидуально по проекту и учитывать размер, рабочее состояние и другие необходимые требования к турбине, подлежащей восстановлению.

Наличие самых современных методов вычислительной гидродинамики (ВГД) позволяет свести риск, связанный с восстановлением, к минимуму. Применение методов ВГД является длительной процедурой и по стоимости может приближаться к краткой программе испытания с использованием модели.

8.2.2 Роль ВГД

Числовое моделирование потока или ВГД (вычислительная гидродинамика) является мощным инструментом при условии правильного использования и понимания его ограничений в применении. При проведении восстановительных работ, оно может использоваться для:

- проектирования новых деталей для старых (существующих) машин;

- анализа течения жидкости в проточной части существующих машин, для понимания и решения проблем, связанных с движением жидкости;

- потенциального улучшения эффективности, связанной с модификацией профиля (может быть разработано на основании анализа ВГД и подтверждено испытаниями моделей), с учетом экономического анализа.

В течение всего процесса разработки конструкций для оптимизации новых машин или планирования работ по восстановлению машин применение ВГД позволяет сократить количество изменений физической модели на испытательном устройстве для получения требуемых эксплуатационных характеристик. Можно уменьшить кавитацию, что практически невозможно сделать при использовании классических методов разработки, применявшихся до появления ВГД, при точной настройке во время испытаний с использованием модели. Так как при численном моделировании распределение давления на ключевые детали рабочего колеса гидротурбины и другие поверхности машины можно проверить и оптимизировать распределение потока и более равномерное распределение давления.

Использование ВГД помогает выявить неисправности в работе турбин существующих электростанций. Анализ потока позволяет понять происходящие в нем процессы. Более важным является то, что ВГД позволяет провести сравнительный анализ вариантов при устранении отдельной неисправности потока, путем изменения численных показателей форм деталей и изучения соответствующих изменений в получившейся модели потока. При положительных результатах анализа ВГД данного варианта, новую деталь используют в модели или прототипе машины.

8.2.3 Процедура анализа ВГД

Анализ ВГД состоит из следующих основных этапов:

- определение настоящих координат и геометрических параметров проточной части (смачиваемые поверхности);
- на основании этих данных пространство внутри каналов потока необходимо разделить на конечные элементы или конечные объемы для определения рабочих точек интересующей турбины, необходимо обозначить начальные и граничные условия для моделирования нестабильных потоков;
- выполнить математическое моделирование потока,
- обработать результаты, провести анализ, сформулировать рекомендации по устранению выявленной неполадки.

Достоверность и точность решения зависит от выполнения каждого этапа и ответов на следующие вопросы:

- верны ли основные координаты компонентов машины, правильно ли они отражают текущее состояние машины;
- правильно ли расчетная область отражена выбранными конечными элементами, чтобы свести вероятность числовых ошибок до минимума;
- были ли верно обозначены начальные и граничные условия для определения рабочих точек турбины электростанции;
- какая расчетная область кода ВГД была использована и правильно ли были заданы основные параметры (например, модель турбулентности и т. д.);
- есть ли уверенность, что вся необходимая и достаточная информация была выдана и правильно интерпретирована.

8.2.4 Точность результатов ВГД

Точность результатов ВГД зависит от кода ВГД, способов его использования и профессионального опыта пользователя. Моделирование потока не может с абсолютной точностью отразить всю сложность реального потока. Моделирование основывается на математической модели реального потока, и таком образом, ключевой вопрос заключается в том, насколько точно математическое моделирование потока соответствует реальному.

Определяющими уравнениями, которые используются для описания гидравлического потока через турбину на гидроэлектростанции, являются уравнения Навье-Стокса (NS). Данные уравнения подходят и для ламинарных, и для турбулентных потоков. Однако невозможно найти решение уравнений Навье-Стокса для потоков через сложные гидравлические машины. Таким образом, для моделирования турбулентного потока используются уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу (RANS). В этом случае для обозначения скорости локального потока и соответствующего давления используют среднее значение и период колебания вместо «реальных» локальных значений. Это требует введения модели турбулентности, которая принимает во внимание влияние «реальной» турбулентности на поведение потока. Создание модели турбулентности все еще находится на стадии разработки. Модель турбулентности, которую используют для точных расчетов турбулентного потока, оказывает значительное влияние на точность анализа.

Более того, хотя уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу (RANS) и рассматривают поток как континуум, но могут быть решены только для ограниченного количества точек в пространстве. Соответственно, расчетную область необходимо разделить (дискретизировать) на ряд мелких элементов или областей, в зависимости от расчетного алгоритма. Дискретизация может значительно повлиять на точность числового решения. Существующие правила определения расчетной ячейки не позволяют полностью устранить появления «ложных элементов» из-за конструктивных особенностей анализируемой машины или компонента. На точность может повлиять количество элементов или топология ячейки для данного ряда элементов.

Таким образом, точность моделирования ограничена. Это особенно актуально, когда речь идет об отсасывающей трубе и особенно для старых моделей отсасывающих труб.

8.2.5 Как ВГД используется для восстановления

Существуют два способа использования ВГД для анализа работы нового рабочего колеса турбины и/или других компонентов и модификаций в существующей гидравлической турбине:

- провести анализ нового устройства с самого начала;
- сначала провести анализ существующей установки, чтобы получить данные для сравнения калибровки с доступными данными испытаний, а затем новых или модифицированных компонентов, чтобы высчитать разницу между новыми и существующими установками.

Первый подход полностью полагается на точность числового прогноза. В этом случае, прогнозируемая работа новых компонентов в существующей среде полностью зависит от способов вычисления.

При втором подходе во внимание принимаются данные испытаний моделей, прототипов, данные о работе электростанции за несколько лет. Разница работы нового и старого устройства анализируется в цифровой форме. В результате, только разница между работой нового и старого устройства влияет на точность числового прогноза. Второй подход к прогнозу работы установки с использованием ВГД является более точным. Однако он является более длительным, чем первый, так как анализу подвергают данные как новых компонентов, так и существующих. Чтобы произвести точное моделирование потока для существующей турбины существующее устройство должно быть документально подтверждено и соответствовать реальному водному потоку. Однако документация для установок часто, и особенно для рабочих колес, или неполная, или отсутствует совсем. В таких случаях необходимы точные измерения расположения объекта.

Второй подход к прогнозированию работы с использованием ВГД для восстановительных проектов более надежен, чем первый. Но он является более дорогим и сложным, так как необходимо получить точные данные о конфигурации существующих компонентов.

8.2.6 ВГД против испытаний с использованием модели

ВГД является хорошим инструментом для сравнения вариантов, но не единственным способом для определения мощности гидравлической машины. Это касается случаев восстановления машины. Характеристики ВГД также верны при оценке кавитационных характеристик.

Вопрос о применении расчетов ВГД, или испытаний с помощью модели, или обоих способов зависит от размера электростанции и объемов средней выработки электроэнергии после восстановительных работ.

Для небольших гидроэлектростанций стоимость испытаний с использованием модели часто выше, чем общие затраты на восстановительные работы, поэтому для них целесообразно использовать ВГД для анализа существующих и разработки новых компонентов.

Для электростанций среднего размера предпочтительнее использовать частичные испытания модели для проверки новых установок, оптимизированных с помощью ВГД. Часы испытания модели позволяют за умеренную стоимость проверить точность числового прогнозирования. Они позволяют убедиться, что запланированные меры будут успешными и дают возможность в дальнейшем улучшить конструкцию. Однако компоненты машины, используемые в модели и не соответствующие существующей конструкции, могут значительно повлиять на процесс измерений. Часто используют модели с новым рабочим колесом, которое соответствует условиям подобия, в то время как остальные детали модели в разной степени являются несоответствующими.

Для крупных электростанций с высокой производительностью энергии оправдано проведение модельных испытаний. Если стоимость 1 % снижения эффективности и 1 % снижения производительности за год эксплуатации больше, чем стоимость испытаний с использованием модели, то стоит провести модельные испытания в специализированной лаборатории. Что гарантирует максимальную точность и финансовую выгоду при восстановлении энергоблоков.

Возможны три подхода к планированию проектов по восстановлению:

a) небольшие электростанции: только ВГД;

b) средние электростанции: ВГД в комбинации с испытаниями Частично подобных моделей;

c) крупные электростанции: ВГД в комбинации с модельными испытаниями.

Выбор категории a), b) или c) зависит от следующих параметров, присущих оцениваемой электростанции:

- насколько возрастет выработка энергии после проведения работ;
- является ли кавитационная эрозия главной проблемой и можно ли ее уменьшить или избежать;
- существуют ли другие проблемы в эксплуатации, такие как гидравлические резонансы, которые необходимо решить;
- существуют ли недопустимые уровни давления, пульсация или вихревые шнуры в отсасывающих трубах, которые необходимо снизить или устранить.

Многие изменяющиеся со временем факторы, такие как вихревые шнуры, влияют на точность анализа ВГД, точность которого постоянно повышается. Решение о том, какие инструменты применять, должно зависеть от конкретного случая, с учетом тщательной оценки рентабельности.

8.3 Испытания с использованием модели

8.3.1 Основные положения

Развитие гидравлических турбин, гидроагрегатов и насосов-турбин исторически проводилось с использованием метода экспериментального исследования моделей в лаборатории. Данный метод, в комбинации с аналитическими расчетами, основанными на предыдущих моделях, является надежным инструментом разработки. Несмотря на совершенствование методов гидродинамического анализа, связанных с введением новых технологий ВГД, модельные испытания являются единственным точным способом оценить результаты расчетов подходящим и современным способом и прогнозировать работу прототипа, принимая во внимание различные важные аспекты, такие как мощность и эффективность, риск кавитационной эрозии, разгонное число оборотов, пульсации давления, колебания крутящего момента на валу, крутящие моменты на лопатках направляющего аппарата, вентилирование отсасывающей трубы и осевую гидравлическую силу. Что касается феноменов нестабильности и возможных резонансов (пульсации давления, колебания крутящего момента на валу и вентилирование отсасывающей трубы), то модельные испытания не могут точно указать на потенциальный резонанс элементов проточной части гидравлической станции, даже если их можно было бы смоделировать.

Модельные испытания позволяют установить эффективность гидравлической машины с малой вероятностью погрешности (до ± 0,2 % в хорошо оснащенных лабораториях). Эффективность является одним из важнейших параметров эксплуатации и так как испытание модели, как правило, происходит на стадии разработки проекта, то использование этого параметра целесообразно в качестве критерия определения рациональности. Метод модельных испытаний, применяемый при оценке новых гидравлических машин, подходит для оценки работ по восстановлению машин с различными вариантами для потенциальных модификаций (статора, направляющего аппарата, рабочего колеса и отсасывающей трубы).

Если испытания на месте установки затруднены, дорогостоящи или с высокой вероятностью искажений (например, крупные турбины с малым напором), то результаты модельных испытаний могут быть приняты как основа для заключения контрактов. Это возможно в случаях, когда испытания проводятся сначала на модели, воспроизводящей существующие профили, а потом на модели, воспроизводящей новые профили. Иногда заключение контракта основывается скорее на демонстрируемых преимуществах эксплуатации, чем на абсолютной эффективности восстанавливаемой машины.

Подобная методика используется при испытании прототипов (испытания «до» и «после») для снижения систематических погрешностей.

Программа модельных испытаний для двух рабочих колес (старого и нового) может стоить от нескольких сотен тысяч долларов до нескольких миллионов долларов США, в зависимости от того, насколько доступны некоторые компоненты модели и от объема программы испытаний. Последняя зависит от предполагаемой величины эффективности и, для крупных электростанций с десятками установок, могут включать два и три производителя, результаты контрактных испытаний которых следует проверить в испытательной лаборатории.

8.3.2 Сравнение испытаний с использованием модели

Существуют две категории испытаний с использованием модели:

- испытания с полностью подобной моделью. Полностью подобная модель дублирует гидравлические профили существующих компонентов турбин, а также гидравлические профили новых компонентов. Для чего требуется определение точных геометрических размеров через оригинальные чертежи и измерения существующих компонент турбин. Даже при наличии оригинальных чертежей рекомендуется провести некоторые измерения существующих компонент турбин для подтверждения существующих профилей;

- испытания с частично подобной моделью. В частично подобной модели компоненты сходны, но не полностью дублируют гидравлические профили существующих или модифицированных компонентов турбины.

Испытания с полностью подобной моделью предпочтительнее, так как испытания с частично подобной моделью требуют корректировки вычислений, чтобы учесть недостаток неполного подобия некоторых компонентов. Корректировки вычислений могут быть интерпретированы разными способами.

Однако, при хорошем знании интервала разгонной скорости турбины, риск при проведении испытаний с частично подобной моделью для нескольких сравнительно небольших установок будет незначительным. Таким образом, в некоторых случаях вполне рентабельно прибегнуть к испытаниям с частично подобной моделью, чтобы выиграть в снижении стоимости изготовления и инженерного проектирования, а также за счет сокращения времени испытаний с использованием такой модели.

8.3.3 Содержание испытаний с использованием модели

Испытание с использованием модели может охватывать следующие аспекты:

a) основные исследования:

1) определение энергетических характеристик гидравлической машины в полном диапазоне режимов работы;

2) определение зон и интенсивности кавитационных разрушений при различных режимах работы турбины;

3) влияние кавитации в колене отсасывающей трубы на мощность и эффективность (измерения мощности и эффективности при изменении кавитационного коэффициента турбины с наблюдением за начальными условиями кавитации);

4) определение разгонной частоты вращения турбины при максимальном открытии направляющего аппарата и максимальном напоре для нормального и минимального кавитационного коэффициента установки;

5) колебания давления в спиральной камере и в отсасывающей трубе при нормальном открытии направляющего аппарата для нормального кавитационного коэффициента установки и в некоторых случаях, для различных кавитационных коэффициентов установки (коэффициентов Тома), входящих в предполагаемую область значений гидростанции;

6) измерения колебаний крутящего момента на валу турбины при нормальном открытии направляющего аппарата для различных кавитационных коэффициентов установки (коэффициентов Тома), входящих в предполагаемую область значений гидростанции (влияние допускаемого кавитационного запаса на насос-турбину);

7) испытания вращающего момента лопасти турбины Каплана;

8) гидравлический удар;

9) текущие проверки основных размеров модели;

b) дополнительные данные:

1) измерения вращающего момента направляющей лопатки при нормальном открытии направляющего аппарата и напоре, включая влияние нарушения комбинаторной зависимости;

2) влияние подачи воздуха в отсасывающую трубу при колебаниях давления в спиральной камере и колебаниях крутящего момента на валу;

3) измерения осевого и радиального давления при нормальном открытии направляющей лопатки и максимальном напоре;

4) влияние уровня сбросных вод на эффективность ковшовой гидротурбины в случаях максимального водосброса;

5) диаграмма прижимной силы, при наличии значительных изменений формы направляющего аппарата;

6) изгиб вращающего момента носка низкого уступа, при наличии значительных отклонений от обычного режима работы станции;

7) калибровка кранов Уинтер-Кеннеди — измерение разницы давления в двух или более точках (например, на секции спиральной камеры) для ограничений области напоров носка низкого уступа электростанции и модуля стока.

8.3.4 Применение модельных испытаний

8.3.4.1 Основные положения

Повышения эффективности можно добиться путем сравнения результатов испытаний эффективности прототипов, которые проводились до капитального ремонта, и результатов модельных испытаний на оборудовании новой конструкции с внедрением соответствующих усовершенствований («прогнозирование прототипа по модели») или путем прямого сравнения «модели с моделью» через испытание старых и новых компонентов в одинаковых условиях исследования.

8.3.4.2 Сравнение модели и прототипа

Одним из способов решения вопроса является сравнение существующих данных по прототипу, в идеале полученных в результате последнего исследования прототипа на месте, с результатами исследования усовершенствованной модели новой машины.

Данная процедура дает результаты сравнительно низкой точности, потому что:

- измерения в натурных условиях подразумевают сравнительно большую погрешность (0,7 % — 2 % в зависимости от типа машины, состояния полевых условий и выбранных способов исследования). При плохих условиях погрешность может быть даже больше;

- ограничения по формуле пропорционального увеличения (формуле пересчета с учетом масштабного эффекта) для точного представления разницы в действительных потерях между новой моделью и старым прототипом, оснащенным новым рабочим колесом турбины, и, возможно, некоторые другие модификации.

В наихудшем случае общая погрешность данной процедуры может превысить 2 %.

8.3.4.3 Сравнение модели с моделью

Этот метод сравнивает существующие и новые характеристики машины непосредственно путем проведения модельных испытаний, как на старых, так и на новых конструкциях. Предполагая, что обе конструкции имеют одинаковое состояние поверхности, без повреждений кавитационной эрозией, коррозией или другими нарушениями состояния поверхности, и при условии одинаковых зазоров в уплотнениях в рабочем колесе, этот метод сравнения является достаточно точным.

В прогнозировании «модели и прототипа» необходим расчет поправки, которая может быть добавлена к мощности модели для оценки мощности прототипа. При проведении исследований модели механизм для прогнозирования производительности прототипа основан на сходстве между моделью и прототипом. Расчет эффективности прототипа базируется на точном знании геометрии и фактической шероховатости поверхностей. Сходство требований описано в стандарте [1]. Когда геометрические допуски подобия соотнесены и шероховатости поверхности модели и прототипа известны, производительность прототипа может быть рассчитана. Особо внимательно должны производиться расчеты при оценке шероховатости прототипа машины, когда срок ее эксплуатации приводит к средней шероховатости важных компонентов, как например, направляющие лопатки и, в меньшей степени, статорные колонны, которые выходят за рамки рассматриваемых в настоящем стандарте. Шероховатости измеряются на важных компонентах до стадии проведения тендера. Участник тендера может представить оптимальный способ обновления различных компонентов проточной части, и расчет масштабного эффекта может быть выполнен для усовершенствованных компонентов. Если по какой-либо причине шероховатость поверхности не измеряется, должна быть достигнута договоренность между владельцем и исполнителем в отношении оценки эффектов шероховатости.

При проведении сравнения «модели с моделью» оба рабочих колеса (старой и новой конструкции) и любые другие предложенные изменения проходят проверку в модели, состоящей из таких же других элементов турбины. Разница в эффективности, которая наблюдается между новой и старой конструкцией рабочего колеса может быть определена с точностью большей, чем для автономных испытаний. Этот подход требует испытания двух моделей рабочего колеса на одном испытательном оборудовании.

Модельное испытание имеет явное преимущество, будучи эффективным инструментом развития. Испытания прототипа, для сравнения, обеспечивают лишь средство для оценки характеристик готовой продукции или помогают провести сравнение между существующим прототипом и усовершенствованной машиной.

Точность, достижимая при использовании сравнения «модели с моделью» для любого процесса модернизации электростанции, основывается на точности, с которой можно построить модель, полностью подобную старой машине. Есть, в большинстве случаев, значительные различия в форме и расположении лопастей в старом рабочем колесе. Для учета этого факта с экономической точки зрения обычно измеряют профили, по крайней мере, трех лопастей и берут среднее арифметическое значение данных измерений для построения новой модели старого прототипа с учетом допущения, что старое рабочее колесо имеет равномерно расположенные лопасти. Дело в том, что невозможно экономически построить новую модель, которая совершенно подобна старому прототипу. Эти факторы внесут неточность неопределенной величины в сравнение «модели с моделью».

Разница в эффективности между старой и новой моделями рабочего колеса, а также между старым и новым прототипами рабочего колеса будет аналогичной при условии, что гомологичность старой модели рабочего колеса будет абсолютной. Если мы рассмотрим различия только шероховатости, то вероятность, что разница между старой и новой эффективностью прототипа будет больше, чем разница, полученная в результате испытаний, между «старой» и «новой» моделью из-за ухудшения состояния поверхности «старого» прототипа. Однако это сравнение всегда будет иметь некоторые неизвестные величины из-за процедур, описанных в предыдущем пункте.

Этот подход «модели с моделью» предполагает:

- высокую степень уверенности владельца в увеличении эффективности, которая может быть получена относительно прототипа старых турбин;

- высокую степень уверенности производителя, который может гарантировать повышение эффективности старой турбины для одной или более тестируемых моделей модификации (например, рабочего колеса и направляющих лопаток). Это повышение эффективности прототипа может быть продемонстрировано в сравнительных натурных испытаниях. Все улучшения параметров узлов турбины будут определяться по оценке прибыли до того, как владелец примет окончательное решение.

Процедура «Модели с моделью» предусматривает обоснованную оценку кавитационного поведения новых рабочих колес, снижая вероятность возникновения споров между подрядчиком и владельцем гидравлических машин.

В случаях применения контрактного сравнения «модели с моделью» индекс испытания прототипа иногда используется до и после усовершенствования, чтобы подтвердить улучшения, прогнозируемые результатами моделирования.

8.3.5 Место проведения исследования модели

Исследование модели может проводиться либо в лаборатории завода-изготовителя или в независимой лаборатории:

a) Испытания модели в лаборатории завода-изготовителя.

Все приемо-сдаточные модельные испытания и большая часть договорных модельных испытаний проводятся в лаборатории завода-изготовителя. Однако некоторые покупатели требуют, чтобы договорные модельные испытания проводились в независимой лаборатории. В таких случаях модель отправляется из лаборатории завода-изготовителя в независимую лабораторию для проведения приемо-сдаточных испытаний.

b) Модельные испытания в независимой лаборатории.

1) Обычные контрактные отношения. Преимуществом договорного модельного исследования, которое проводится в независимой лаборатории, является обеспечение возможности проверки исполнения гарантий третьим лицам. Недостатком является вероятное увеличение общей продолжительности испытания модели до нескольких месяцев, когда доводочные испытания проводятся в лаборатории завода-изготовителя, а договорные испытания в другом месте. Если владелец решит проводить испытания существующих турбин и новой конструкции, все исследования проводят в одной лаборатории. В настоящее время все основные производители и независимые лаборатории используют испытательные стенды аналогичного размера и мощности, позволяющие проводить испытания всех размеров.

2) Конкурентоспособные модельные испытания в независимой лаборатории. Применительно к большинству проектов усовершенствования (большой мощности и/или большим количеством машин) практически все владельцы требуют сравнительных модельных испытаний в независимой лаборатории. Приглашаются различные участники тендера, работы которых зачастую оплачиваются по разным договорам, и все они имеют возможность продемонстрировать эффективность своей модели турбин до того, как подписывается договор о проведении усовершенствования и работы над прототипом. Если для выполнения сравнения допущенных два или более подрядчиков, это увеличивает стоимость работ. Однако затраты будут разумными и оправданными по сравнению с потенциальной выгодой, когда производителям предлагается оптимизировать свои проекты и проверить их в независимой лаборатории. Это может включать несколько модифицированных компонентов (не только рабочее колесо), разработанных с использованием ВГД анализа. В этом случае погрешность сравнения составляет ± 0,15 % и может надежно гарантировать создание долгосрочной финансовой выгоды при условии незначительных различий в эффективности.

8.4 Проверка технических характеристик прототипа

8.4.1 Основные положения

Методы исследований прототипа, которые применимы для новой гидравлической машины, также подходят для усовершенствованных машин.

В большинстве случаев основная цель тестов прототипа проводится, чтобы проверить соответствие турбины ее рабочим характеристикам. Преимущество испытаний прототипа заключается в том, что они дают КПД турбины непосредственно в относительных единицах, применимых к выбранному методу. В период испытаний невозможно проверить другие важные параметры, такие как интенсивность кавитацион-

ной эрозии с требуемой количественной точностью. Разгонные испытания редко осуществляются на прототипе из-за риска повреждения устройства и, в частности генератора, вследствие события, которое маловероятно в жизни машины. Некоторые владельцы, с учетом этих рисков, проводят разгонные испытания на одной установке каждой новой конструкции.

В сравнении с новыми усовершенствованные турбины имеют преимущество, позволяющее проведение сравнительных испытаний на машине до и после усовершенствования. При этом параметром первичных экономических интересов является повышение эффективности, а не получение максимальной эффективности. При условии, что испытания «до» и «после» проводятся той же командой на том же оборудовании.

В случаях небольших установок, минимальные натурные испытания могут быть приняты как достаточные. Они могут состоять из проверки гарантированной выработки установки, а также из общих проверок работы установки при нормальной загрузке (бесперебойной работы без уровней пульсаций давления, вибрации и шума, которые могут иметь пагубные последствия для характеристики установленной мощности или долгосрочной надежности блока). Такие проверки не требуют использования сложного испытательного оборудования. Если основная проверка выявляет потенциальные проблемы, могут проводиться конкретные измерения рассматриваемого параметра. Контракт должен четко оговаривать, какие критерии и какой характер тестирования ожидается, а также какая сторона несет расходы на дополнительные измерения.

Большинство площадок выбирают испытания прототипа индекса до и после усовершенствования и в какой-то мере доводочные испытания модели. Методы и ограничения индекса испытаний в соответствии с ГОСТ 28842.

8.4.2 Точность проверки технических характеристик прототипа

Ряд организаций, проводящих испытания, улучшили технологию для тестирования площадок для гидравлических турбин, однако точность все еще не такая высокая, как в случае проведения модельных испытаний.

Абсолютный уровень погрешности будет зависеть от конструкции машины. Легче достичь высокой точности при работе с машиной высокого напора, нежели с машиной низкого напора. Детализированный проект конструкции турбины и ее проточной части также важны. Например, проще достичь высокой точности там, где есть доступ к прямому участку напорного водотока, где будет установлен расходомер, чем на турбине, где канал имеет множество близко расположенных лопаток. На гидравлических машинах с более высоким напором прямое измерение эффективности с использованием термодинамического метода часто имеет сравнительно низкую стоимость и высокую точность.

Уровень абсолютной погрешности различных основных методов испытания МЭК находится в пределах от ± 1,5 % до ± 2 %. С помощью самых современных методов и оборудования и высококвалифицированных тестеров погрешность может быть снижена до уровня ниже ± 1 % в лучших условиях (например, с термодинамическим методом на установку с удельным значением гидравлической энергии 2 900 Дж /кг, напором более 300 м, или с использованием акустического метода для, по крайней мере, четырех скрещенных путей, в общей сложности восьми путей, и десяти диаметров трубопровода прямо перед измерительной секцией). Что касается модельных испытаний, погрешность исследований прототипа, используемых для определения разницы в эффективности модульного тестирования до и после усовершенствования, лучше примерно на 20 %, чем типичные погрешности при использовании метода для определения максимальной эффективности той же установки (некоторые из систематических погрешностей устранены).

Как минимум, выбранная процедура должна быть такой, чтобы подтвердить, что достигаются финансовые показатели, при которых проект считается обоснованным.

Если требуется для достижения минимальной окупаемости проекта при финансовой эффективности 3 % на проект и есть гарантированное увеличение на 5 %, то испытания с погрешностью ± 2 % будет достаточно.

Компании часто устанавливают минимальный уровень внутренней нормы доходности для рентабельности инвестиций. Если уровень погрешности, например, ± 1 %, то некоторые компании вычитают 1 % от гарантированной эффективности всех претендентов, прежде чем рассчитывается норма прибыли. Выполнять это вычитание или нет — вопрос инвестиционной политики.

8.4.3 Виды проверок технических характеристик прототипа

Испытания производительности прототипа проводятся для подтверждения соблюдения договорных гарантий.

Абсолютный или относительный метод может быть использован в зависимости от договорных условий. Описания и ограничения различных методов согласно ГОСТ 28842.

Если максимальная эффективность гарантирована, она проверяется с помощью абсолютных «первичных» методов. Результаты могут быть использованы для оценки штрафа или премиальных выплат или любых других договорных последствий, касающихся гарантий.

Для усовершенствованных машин, обычно для обоснования части расходов по восстановлению ссылаются на повышение эффективности, которая может быть получена. В этой связи, обоснованно измерять производительность машины до и после усовершенствования. По этой причине абсолютное исследование не обязательно и может быть заменено на относительные испытания. Измерение абсолютного пропуска через турбину необходимо для соблюдения договорных обязательств, приводящих к значительным преимуществам и, как правило, к экономии средств. С другой стороны, в целях проектирования долгосрочных доходов в будущем, устанавливается абсолютное значение КПД турбины. Это может быть выполнено либо соотношением прошлой деятельности с измеряемой прибылью или путем проведения исследования абсолютной эффективности на усовершенствованной установке, а иногда и с помощью обоих методов.

Исследование индексным методом (например, метод Уинтер-Кеннеди), выходная мощность генератора измеряется на требуемом уровне точности. В то же время измеряется перепад давления, как правило, между двумя точками участка спиральной камеры. Когда усовершенствование завершено, мощность усовершенствованной машины сравнивается с мощностью начальных установок при таких же объемах попусков (такой же перепад давления в спиральной камере, например). Изменения выходной мощности при таких же объемах попусков используется для определения улучшения производительности. Эти измерения можно выполнить по всей шкале производительности установки.

Исследование индексным методом имеет много преимуществ и является наименее дорогостоящим решением, однако есть некоторые трудности в этой технике:

- объемы усовершенствования должны быть такими, чтобы исследования «до» и «после» оставались объективными;

- турбина должна быть оборудована средствами измерения относительного стока. Это, как правило, относится к использованию вентилей Уинтер-Кеннеди, но они не всегда установлены и не всегда в пригодном состоянии. Другие перепады давления вследствие различных диаметров напорного трубопровода могут быть использованы;

- точность и уровень максимальной эффективности «до испытания» должны быть приняты участниками тендера. Это можно сделать путем проведения испытаний в присутствии выбранных участников тендера или путем привлечения квалифицированной организации третьих лиц к выполнению испытаний как «до», так и «после».

8.4.4 Оценка результатов

Сравнение гарантированной эффективности с измеренной эффективностью должно осуществляться в соответствии с применимой публикацией МЭК с учетом погрешности измерений принятого метода.

Если измеренная эффективность после учета погрешности измерений ниже, чем гарантированные значения, разница может быть вследствие следующих факторов:

a) Если максимальная гарантированная производительность была проверена на основе усовершенствованного исследования модели:

- состояние и размеры остальных существующих элементов;

- физические различия между моделью и прототипом, в частности, по существующим остальным компонентам (существующим чертежам в плохом состоянии или трудностям доступа, в результате, например, ошибки измерения в случае измерений на площадке) могут объяснить некоторые различия в производительности модели от прототипа;

- расчетный масштабный эффект выше фактического масштабного эффекта;

- для проектов усовершенствования фактическое состояние (дефекты в форме и шероховатости) существующих машин остальных компонентов может привести к уменьшению реального масштабного эффекта в сравнении с теоретическим масштабным эффектом, рассчитанным в соответствии с [1].

b) В случае, когда ни одно исследование модели не было проведено:

- в дополнение к вышеприведенным объяснениям, выполненные расчеты, возможно, были «слишком оптимистичными».

Если относительная производительность (разница между усовершенствованием «после» и «до») была гарантирована и проверена модельными испытаниями, не ожидается никаких проблем, связанных с интерпретацией результатов.

9 Спецификация

9.1 Основные положения

Настоящий раздел должен служить руководством в процессе подготовки контрактной документации для восстановления гидравлических турбин. Восстановление турбин на каждой отдельной площадке проводится по-разному, и для каждой конкретной площадки требуются специальные расчетные критерии. Международные стандарты могут использоваться настолько, насколько они являются применимыми. В настоящем разделе также представлен перечень позиций, которые должны быть включены в подробные технические спецификации.

При разработке спецификаций могут быть использованы два основных подхода. Один из них заключается в составлении подробных спецификаций с указанием данных о конструкции оборудования, элементов, а также о порядке строительства и установки. Второй подход подразумевает составление спецификации, в которой описываются рабочие характеристики установленного оборудования, при этом подрядчику предоставляется свобода выбора решений по проектированию, изготовлению и установке оборудования, которое смогло бы удовлетворить указанные требования. В большинстве случаев, спецификации являются комбинацией двух вышеописанных подходов. Выбор того или иного подхода обычно обусловлен стандартной практикой, принятой на предприятии у владельца оборудования, а также от размера и значимости данного оборудования в системе всего предприятия.

9.2 Исходные стандарты

В качестве основы для тендерной документации предлагается использовать [2]. В [2] представлены все основные положения, касающиеся подготовки тендерной документации, а также следующее:

- пример содержания тендерной документации;
- примечания по факторам оценки тендеров;
- контрольный перечень для заполнения тендерной формы;
- пример технических паспортов;
- гарантия технических характеристик;
- пример гарантии по точечной кавитации;
- контрольный перечень для спецификаций по модельным испытаниям;
- рекомендации по песчаной эрозии.

В [2] также описываются технические требования по турбинам, которые представлены в следующих разделах:

- тендерные требования;
- проектные, общие, особые данные и условия;
- общие требования, технические спецификации/требования;
- объем работ, рамки договора, объем поставки работодателем;
- расчетные условия, гарантии по производительности и прочие гарантии;
- нормы проектирования механической части;
- проектная документация, материалы, данные по строительству, заводской осмотр и испытание;
- технические спецификации для фиксированных/закладных, стационарных/съемных, вращающихся частей, механизма поворота лопаток направляющего аппарата, подшипников и уплотнений, опорных подшипников, других различных элементов, вспомогательных систем, системы КИП;
- запасные части;
- модельные испытания;
- установка и пуск в эксплуатацию;
- натурные приемо-сдаточные испытания.

Требования [2] установлены с целью содействия покупателю оборудования в подготовке тендерной документации для новых гидравлических машин. Данный подход может также применяться в отношении документов, составляемых в целях восстановления уже функционирующих машин. Целью [2] является предоставить общий контрольный перечень технических моментов, которые необходимо учесть при

составлении тендерной документации и тендерных спецификаций. В подпунктах 8.3 и 8.4 ниже представлен контрольный перечень дополнительных позиций, относящихся к разработке спецификаций для восстановления турбин, гидроагрегатов и насосов-турбин. Следует отметить, что в случае с проектами по восстановлению спецификации могут быть более сложными в связи с обнаружением повреждения отдельных элементов машин в ходе разборки и последующих осмотров.

В библиографии приведен перечень других международных и национальных стандартов, обычно используемых для подготовки спецификаций для тендерной документации, применимых для восстановления турбин.

9.3 Информация, которая должна содержаться в тендерной документации

Ниже приведен контрольный перечень данных, которые необходимо указать в технических спецификациях или в других частях тендерной документации.

Условия площадки, включая:

- пределы «высоты» производственного помещения (полный напор);
- данные по водозаборному сооружению, заслонкам, тоннелям, шлюзу, створкам и стоку (для определения потерь напора, если они не были измерены);
- данные по текущим условиям проточного тракта турбины, включая неровность поверхности;
- пределы «удельной гидравлической энергии» (полезный напор);
- полезный сброс;
- пределы подъема верхнего и нижнего бьефов;
- кривая расходов стока (подъем по отношению к сбросу);
- данные по сбросу с соответствующим подъемом верхнего бьефа и нижнего бьефа, представленные в процентном соотношении времени;
- пределы температуры воды и качества воды (физико-химические характеристики и механические примеси, такие как песок, ил и пр.);
- подъем осевой линии распределителя турбины и другие важные характеристики турбины;
- планировка электростанции и направление вращения силовой установки.

Целевое назначение, например, нормативная нагрузка, работа в пиковые периоды, русловая эксплуатация или любые другие ограничения.

Экологические ограничения.

Ограничения, связанные с электростанцией и/или геометрией оборудования.

Требования заказчика:

- тип конструкции рабочего колеса;
- ось установки (вертикальная или горизонтальная);
- синхронная частота вращения (текущие расчетные критерии генератора);
- текущая расчетная скорость разгона генератора (может отличаться от текущей скорости разгона в стационарном состоянии).

Критерии оценки производительности и штрафы (КПД, потребление электроэнергии, кавитация и/или эрозия взвешенными частицами).

Требования для проведения исходных и окончательных модельных испытаний и/или полевых испытаний.

Нормы и стандарты для проектирования, производства и испытания турбин.

Требования по проектированию механической части.

Данные по стоку, достаточные для анализа переходных процессов.

График поставки.

Геометрия и материалы функционирующей турбины на основе исполнительных чертежей (т. е. рабочее колесо и зазоры рабочего колеса, вал, направляющий подшипник, сальник вала, спиральная камера, отсасывающая труба с полными данными о габаритах проточной части, сопрягающий пояс, фундаментное или опорное кольцо, статор с техническими характеристиками статорной колонны, крышка турбины, нижнее кольцо, направляющие лопатки (включая гидравлические характеристики и данные по моменту трения, если известны), рабочий механизм направляющих лопаток, сервомоторы и ограничения по ходу.

Текущие предельные мощности генератора и/или трансформатора (нижнего из двух), включая максимальную мощность и данные по мерам, представленным на рассмотрение владельца оборудования, для изменения данных значений (требуется анализ экономических аспектов).

Текущая грузоподъемность опорного подшипника.

9.4 Документы, которые необходимо составить в ходе проекта

Ниже представлен перечень документов, которые необходимо составить на основе существующих данных или данных, полученных в процессе выполнения работ. Определение стороны, ответственной за составление каждого из этих документов, будет зависеть от договорных отношений, закрепленных в ходе каждого отдельного проекта:

a) до начала работ по договору:

1) порядок проведения рабочего испытания или испытания «по характерным признакам» до разборки;

2) отчет о проведении рабочего испытания или испытания «по характерным признакам» до разборки;

3) порядок разборки и повторной сборки;

4) проверки центрирования до разборки;

5) порядок оценки и осмотра оборудования;

6) порядок проверки центрирования при повторной сборке;

7) объем и порядок испытания после повторной сборки;

8) отчет об осмотре устойчивости бетонного основания;

9) порядок пуска в эксплуатацию.

b) Данные по водосливу до установки:

1) Испытание по характерным признакам, включающее:

- износ вала по отношению к скорости в режиме холостого хода и по отношению к нагрузке;

- устойчивость турбины (измерение давлений в отсасывающей трубе и спиральной камере, а также их изменения в зависимости от нагрузки при известном значении напора);

- измерение вибрации (вертикальное и горизонтальное направления корпуса направляющего подшипника);

- температуры подшипников и сальника вала (скорость потока и температура охлаждающей воды на входе и на выходе);

- испытание питания на заслонке (измеренный выход генератора по отношению к положению направляющей заслонки при известном значении напора);

- испытание сброса нагрузки (измерение увеличения скорости и давления во время сброса нагрузки при 25 %, 50 %, 75 % и 100 % от полной нагрузки);

- испытание дифференциального давления сервомотора (дифференциальное давление сервомотора в зависимости от смещения сервомотора в направлениях открытия и закрытия направляющей лопатки, что требуется, когда нет данных по текущему гидравлическому крутящему моменту направляющей лопатки).

2) Испытание КПД:

- испытания показателей (измерение относительного КПД турбины) или

- испытания абсолютного КПД.

c) Данные по водосливу после установки:

1) зазор контактов направляющей лопатки (проверить зазоры по контактным линиям со сжатием сервомотором и без него);

2) верхний и нижний зазоры направляющей лопатки (со сжатием и без него);

3) открытие направляющей лопатки в зависимости от хода сервомотора (угол открытия и расстояние открытия между лопатками);

4) время открытия и закрытия направляющей лопатки, турбина в сухом режиме со временем амортизации.

d) Разборка установки:

1) центрирование, проверка и регистрация зазоров (положение валов на всех подшипниках, компенсационные кольца рабочего кольца, воздушный зазор генератора);

2) проверка элементов вспомогательных систем на предмет износа, повреждения и другие применимые осмотры (системы смазки, трубопроводы масла, воздуха и охлаждающей воды, КИП, проходы и пр.);

3) проверка элементов генератора на предмет износа, повреждения и другие применимые осмотры;

4) проверка элементов турбины на предмет износа, повреждения и другие применимые осмотры с особо тщательной проверкой механизма направляющей лопатки.

e) Повторная сборка установки:

1) размеры, центрирование, зазоры, ручное вращение, проверка и регистрация.

f) Пуск в эксплуатацию.

1) испытание в сухом режиме и отчеты о калибровке всех КИП;

2) испытание в сухом режиме механизмов направляющих лопаток и сервомоторов, включая проверку времени закрытия и амортизации;

3) испытания в мокром режиме, включая повторение всех испытаний по характерным признакам, описанным в пункте б) выше и рекомендованных к проведению на стадии водослива до установки;

4) отчет об испытании на нагрев для проверки стабильного функционирования при полной загрузке установки.

g) На стадии проектирования:

1) проектные расчеты для вала турбины;

2) проектные расчеты для рабочего колеса;

3) обоснование проектных значений зазоров компенсационного кольца рабочего колеса, проектных решений по материалам и конструкции;

4) проектные расчеты для любого измененного элемента,

5) анализ расчетной гидродинамики элементов проточной части (рабочее колесо, направляющие лопатки и статорные колонны, спиральная или полуспиральная камера, отсасывающая труба);

6) скорость потока, мощность, КПД установки и гидравлический напор при указанных рабочих характеристиках;

7) расчеты переходных процессов для новых рабочих характеристик и их влияние на увеличение скорости и давления, а также итоговая закономерность закрытия направляющей лопатки сервомотора с соответствующими номинальными и эффективными значениями времени амортизации;

8) чертежи, технические инструкции, спецификации по закупке (сырье или приобретаемые или изготавливаемые субподрядчиками части), порядок проведения заводских испытаний.

Библиография

[1] МЭК 60193:1999 Турбины гидравлические. Аккумулирующие насосы и турбонасосы. Приемочные испытания на модели

[2] Серия МЭК/ТО 61366 Гидротурбины, гидроагрегаты ГАЭС и турбонасосы. Тендерные документы

УДК 621.22/621.225:006.354 ОКС 27.140

Ключевые слова: гидротурбины, гидроагрегаты, электростанции, турбонасосы, сравнительные варианты, гидрология, турбины Пельтона

Технический редактор *Е. В. Беспрозванная*
Корректор *М. В. Бучная*
Компьютерная верстка *В. Н. Романовой*

Сдано в набор 07.08.2014. Подписано в печать 07.11.2014. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 10,60. Тираж 54 экз. Зак. 1250.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru