

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ О МЕТОДАХ  
И ОБЪЕМЕ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА РОТОРОВ  
ТУРБИН И ГЕНЕРАТОРОВ НА ОТСУТСТВИЕ  
ТРЕЩИН В МЕСТАХ КОНЦЕНТРАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЙ**



**Ключевые слова:** энергетика, тепловые электростанции, турбины, генераторы, контроль, техническое диагностирование, назначенный ресурс, срок службы

### Предисловие

Порядок организации работ, их объем и последовательность, требуемые при оценке индивидуального ресурса основных элементов паровых турбин и продления срока их эксплуатации сверх паркового ресурса

1 РАЗРАБОТАН ОАО «БЕЛЭНЕРГОРЕМНАЛАДКА»

2 УТВЕРЖДЕН приказом государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго» \_\_\_\_ 20\_\_ № \_\_\_\_ и ВВЕДЕН в ДЕЙСТВИЕ с \_\_\_\_ 20\_\_

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть тиражирован или распространен без разрешения ГПО «Белэнерго»

Издан на русском языке

## Содержание

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Область применения .....                                                                                                                                         | 4  |
| 2 Нормативные ссылки .....                                                                                                                                         | 4  |
| 3 Термины и определения.....                                                                                                                                       | 5  |
| 4 Общие требования.....                                                                                                                                            | 7  |
| 5 Неразрушающий контроль .....                                                                                                                                     | 9  |
| 5.1 Цельнокованные роторы высокого и среднего давления .....                                                                                                       | 9  |
| 5.2 Литые корпусные детали .....                                                                                                                                   | 10 |
| 6 Исследование структуры и свойств стали .....                                                                                                                     | 11 |
| 6.1 Цельнокованные роторы высокого и среднего давлений.....                                                                                                        | 11 |
| 6.2 Литые корпусные детали .....                                                                                                                                   | 12 |
| 7 Определение остаточного ресурса роторов и корпусных деталей турбин.....                                                                                          | 13 |
| 7.1 Общие положения .....                                                                                                                                          | 13 |
| 7.2 Цельнокованные роторы.....                                                                                                                                     | 13 |
| 7.3 Корпусные детали .....                                                                                                                                         | 14 |
| 8 Технологические, конструктивные и режимные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности роторов и корпусных деталей турбин .....                         | 15 |
| 8.1 Общие положения .....                                                                                                                                          | 15 |
| 8.2 Изменение режима эксплуатации турбины .....                                                                                                                    | 15 |
| 8.3 Ремонт поврежденных элементов.....                                                                                                                             | 17 |
| 8.4 Рекомендации по дополнительному эксплуатационному контролю поврежденных или исчерпавших свой расчетный ресурс корпусных деталей турбин .....                   | 18 |
| 9 Критерии эксплуатационной надежности металла основных .....                                                                                                      | 19 |
| элементов турбин .....                                                                                                                                             | 19 |
| 9.1 Цельнокованные роторы.....                                                                                                                                     | 19 |
| 9.2 Корпусные детали .....                                                                                                                                         | 20 |
| 10 Роторы генератора, бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажных узлов роторов генераторов .....                                                        | 21 |
| 10.1 Роторы генераторов.....                                                                                                                                       | 21 |
| 10.2 Бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажных узлов роторов генераторов .....                                                                         | 23 |
| 10.3 Вентиляторы роторов генераторов .....                                                                                                                         | 25 |
| Приложение А Визуальный контроль поверхности осевого канала.....                                                                                                   | 27 |
| Приложение Б Магнитопорошковая (капиллярная) дефектоскопия поверхности осевого канала ротора.....                                                                  | 29 |
| Приложение В Методические рекомендации по вихретоковому контролю поверхности осевого канала цельнокованого ротора.....                                             | 39 |
| Приложение Г Инструкция по ультразвуковому контролю цельнокованных роторов паровых турбин со стороны осевого канала .....                                          | 42 |
| Приложение Д Методические рекомендации по измерению остаточной деформации ползучести ротора со стороны осевого канала .....                                        | 58 |
| Приложение Е Фотографирование дефектов на поверхности осевого канала ротора.....                                                                                   | 61 |
| Приложение Ж Методические рекомендации по ультразвуковому контролю т-образных лопаточных пазов ободов дисков без разлопачивания.....                               | 62 |
| Приложение И Методические указания по магнитопорошковому контролю металла дисков ротора турбины.....                                                               | 64 |
| Приложение К Методические рекомендации по ультразвуковому контролю цельнокованных роторов паровых турбин на наличие поперечных трещин на наружной поверхности..... | 67 |
| Приложение Л Методические рекомендации по вихретоковому контролю тепловых канавок и радиусных переходов на наружной поверхности роторов.....                       | 73 |
| Приложение М Неразрушающие методы контроля корпусов турбин в процессе эксплуатации                                                                                 | 75 |

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Приложение Н Измерение глубины трещин в корпусах турбин.....                                                                                                      | 88  |
| Приложение О Методические указания по магнитопорошковому контролю коррозионно-поврежденных рабочих лопаток в зоне фазового перехода.....                          | 91  |
| Приложение П Исследование микроструктуры и твердости металла роторов .....                                                                                        | 94  |
| Приложение Р Исследование структуры и свойств металла литых корпусных деталей турбин..                                                                            | 96  |
| Приложение С Порядок определения расчетного ресурса и оценка живучести роторов и корпусных деталей турбин.....                                                    | 98  |
| Приложение Т Методические рекомендации по объему и периодичности контроля литых деталей турбин высокого и сверхкритического давлений с трещинами .....            | 118 |
| Приложение У Правила профилактического осмотра и ремонта роторов генераторов .....                                                                                | 124 |
| Приложение Ф Правила осмотра, дефектоскопии и ремонта бандажных колец и вспомогательных элементов бандажного узла турбоагрегатов, находящихся в эксплуатации..... | 126 |
| Приложение Х. Неразрушающий контроль вентиляторов турбоагрегатов. ....                                                                                            | 132 |
| Приложение Ш Инструкция по проведению ультразвукового контроля крепежа энергооборудования.....                                                                    | 136 |

---

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ О МЕТОДАХ И ОБЪЕМЕ КОНТРОЛЯ  
МЕТАЛЛА РОТОРОВ ТУРБИН И ГЕНЕРАТОРОВ НА ОТСУТСТВИЕ  
ТРЕЩИН В МЕСТАХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ**

---

Дата введения ГГГГ-ММ-ДД

**1 Область применения**

Настоящий стандарт определяет необходимые работы, их объем и последовательность, требуемых при оценке индивидуального ресурса элементов паровых турбин и генераторов и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса, методы неразрушающего контроля и критерии надежности, общие требования к расчетной оценке остаточного ресурса этих элементов, ремонтные и режимные мероприятия по обеспечению надежной эксплуатации после исчерпания индивидуального ресурса или выявления недопустимых дефектов в металле.

В настоящем стандарте реализованы положения Закона Республики Беларусь от 05.01.2016 № 354-3 «О промышленной безопасности»

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

СТБ ISO 9712-2024 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля

СТБ 1172-99 Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ 12.1.001-89 Система стандартов безопасности труда. Ультразвук. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.009-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения

ГОСТ 12.2.007.14-75 Система стандартов безопасности труда. Кабели и кабельная арматура. Требования безопасности

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Термины и определения

ГОСТ 1050-2013Metalloпродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия

ГОСТ 1778-2022 Metalloпродукция из сталей и сплавов. Metallogрафические методы определения неметаллических включений.

ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения

ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод

ГОСТ 12652-74 Стеклотекстолит электротехнический листовой.  
Технические условия

ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые

ГОСТ 20700-75 Болты, шпильки, гайки и шайбы для фланцевых и анкерных соединений, пробки и хомуты с температурой среды от 0 до 650 °С. Технические условия

ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения

ГОСТ 21014-88 Прокат черных металлов. Термины и определение дефектов поверхности

ГОСТ 24289-80 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения

ГОСТ 24450-80 Контроль неразрушающий магнитный. Термины и определения

ГОСТ 24521-80 Контроль неразрушающий оптический. Термины и определения

ГОСТ 24522-80 Контроль неразрушающий капиллярный. Термины и определения

СТП 33240.17.102-25 Металл паросилового оборудования электростанций. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации

СТП 33240.17.400-25 Инструкция по контролю металла и продлению срока эксплуатации основных элементов котлов, турбин и трубопроводов ТЭС ГПО «Белэнерго»

Примечание: при пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте организации применяют термины с соответствующими определениями, установленные в ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911, ГОСТ 24289, ГОСТ 24450, ГОСТ 24521, ГОСТ 24522, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 долговечность:** Свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**3.2 живучесть:** Свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из-за дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта или сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, либо при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов. Примером служит сохранение несущей способности элементами конструкции при

возникновении в них усталостных трещин, размеры которых не превышают заданных значений.

**3.3 ресурс индивидуальный:** Назначенный ресурс конкретного объекта, определенный с учетом фактических свойств металла и условий его эксплуатации.

**3.4 надежность:** Свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Примечание – Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

**3.5 ресурс назначенный:** Суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

**3.6 ресурс остаточный:** Суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

**3.7 отказ:** Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

**3.8 ресурс парковый:** Нарботка однотипных по конструкции, маркам стали и условиям эксплуатации элементов, деталей и сборочных единиц теплоэнергетического оборудования, в пределах которой обеспечивается их безаварийная работа при соблюдении требования действующей нормативной документации

**3.9 предельное состояние:** Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**3.10 ресурс:** Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

**3.11 срок службы:** Календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

**3.12 пусковая операция:** толчок ротора турбины паром из холодного, горячего или неостывшего состояния с поднятием оборотов ротора.

**3.13 трещиноподобный дефект:** любая отдельная линейная несплошность контролируемого изделия определяемая визуально с геометрическим углом в вершине распространения менее 15° либо любая линейная действительная (не ложная) индикация от несплошности установленная поверхностными методами неразрушающего контроля.

**3.14 специализированная организация по техническому диагностированию:** организация, имеющая специальное разрешение (лицензию) на право осуществления деятельности в области промышленной безопасности в части выполнения работ и (или) услуг по диагностированию технических устройств, имеющая в штате экспертов по соответствующему типу технических устройств, для которых работа в данной организации

является основной, а также имеющая собственную лабораторию, аккредитованную на беспристрастность, независимость и техническую компетентность в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025 в национальной системе аккредитации Республики Беларусь.

## **4 Общие требования**

**4.1** Порядок организации работ при продлении срока эксплуатации турбин сверх паркового ресурса определен в СТП 33240.17.400.

**4.2** Проводить неразрушающий контроль разрешается только специалистам, которые прошли теоретическую подготовку и практическое обучение, аттестованы в установленном порядке и сертифицированы по СТБ ISO 9712.

**4.3** К контролю металла по месту и в лабораторных условиях, выполнению механических испытаний, химического и спектрального анализа, металлографических исследований допускаются специалисты, имеющие профильное высшее образование или среднее специальное с опытом работы не менее 3 лет. Стилоскопирование допускается выполнять специалистам, прошедшим специальное обучение, проверку знаний и имеющим удостоверение на право контроля стилоскопированием.

**4.4** Для выполнения работ по контролю и испытаниям металла привлекаются испытательные лаборатории, располагающие квалифицированными и обученными специалистами с опытом проведения работ, перечисленных в п.п. 4.10, необходимой аппаратурой, оборудованием, вычислительной техникой, математическим обеспечением.

**4.5** Испытательная лаборатория должна быть аккредитована в установленном порядке. Область аккредитации испытательной лаборатории должна распространяться на соответствующие объекты контроля и применяемые методы разрушающих и неразрушающих испытаний. Лаборатория должна иметь в своем штате компетентных сертифицированных аттестованных (прошедших периодическую проверку знаний) в установленном порядке специалистов по всем применяемым методам, имеющих соответствующее образование, профессиональную подготовку, технические знания, навыки, опыт.

**4.6** Специализированная организация по техническому диагностированию, разрабатывающая экспертное заключение, должна иметь собственную испытательную лабораторию, аккредитованную в установленном порядке. Область аккредитации собственной лаборатории должна распространяться на диагностируемое и контролируемое оборудование, все виды работ, методы контроля и исследования металла и сварных соединений, которые применяются и выполняются при техническом диагностировании и продлении ресурса (срока службы) энергооборудования.

**4.7** Специалисты, участвующие в проведении контроля, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты в зависимости от вида и места работы.

**4.8** К элементам турбин, определяющим их ресурс, относятся цельнокованные роторы высокого и среднего давления и корпусные детали, работающие в цилиндрах с температурой пара на входе 450 °С и выше, при которой в металле протекают необратимые (без применения специальных ремонтных операций) изменения структуры и свойств и происходит накопление повреждений от ползучести и малоциклового усталости.

**4.9** Значения паркового ресурса приведены в СТП 33240.17.400.

**4.10** При подготовке решения о продлении срока эксплуатации турбины сверх паркового ресурса следует выполнять следующий комплекс исследований:

- анализ технической документации ТЭС по режимам эксплуатации турбины, повреждениям, заменам и восстановительным ремонтам основных элементов, результатам контроля металла основных элементов в течение всего срока их эксплуатации;

- неразрушающий контроль металла основных элементов для выявления дефектов и оценки накопленной поврежденности;

- исследование структуры и свойств металла основных элементов;

- расчетная оценка напряженного состояния и остаточного ресурса роторов и корпусных деталей с учетом фактических данных о свойствах металла и режимах эксплуатации турбины.

Дополнительно следует проводить анализ документации завода-изготовителя турбины о свойствах металла элементов в исходном состоянии и индивидуальных особенностях их изготовления с учетом возможности отступления от требований проектной документации.

**4.11** При положительных результатах всех перечисленных в 4.10 исследований на основании заключений специализированных организаций экспертно-технической комиссией (ЭТК) принимается решение о продлении срока эксплуатации турбины сверх паркового ресурса. Очередной комплекс неразрушающего контроля и исследования структуры и свойств металла в объеме настоящего стандарта проводится по исчерпанию назначенного ресурса. В пределах этого срока объем и периодичность контроля металла турбин устанавливается решением ЭТК с учетом требований СТП 33240.17.400.

**4.12** В случае, если расчетный ресурс основных элементов оказывается исчерпанным, а неразрушающий контроль металла и исследование его структуры и свойств дали положительные результаты, турбина может быть допущена к дальнейшей эксплуатации с уменьшенными интервалами межремонтного периода и дополнительным (если требуется) объемом контроля металла на срок, подтвержденный расчетными оценками времени живучести. После исчерпания индивидуального ресурса основных элементов (исчерпания расчетного ресурса при отрицательных результатах неразрушающего контроля и/или исследования структуры и свойств металла) или при выявлении недопустимых дефектов в металле в пределах расчетного ресурса дальнейшая эксплуатация этих элементов возможна только при условии проведения восстановительных ремонтных и/или режимных мероприятий.

## 5 Неразрушающий контроль

### 5.1 Цельнокованные роторы высокого и среднего давления

**5.1.1** Высоконагруженными зонами цельнокованных роторов, в которых образование трещин наиболее вероятно, являются:

- осевой канал;
- обода дисков первых двух наиболее высокотемпературных ступеней;
- галтели дисков первых двух наиболее высокотемпературных ступеней;
- разгрузочные отверстия дисков;
- тепловые канавки концевых, диафрагменных и промежуточных уплотнений, расположенных в зоне ротора с температурой металла выше 400 °С.

**5.1.2** Контроль металла со стороны осевого канала включает:

- визуальный контроль поверхности канала, зачищенной от окалины, для оценки качества зачистки поверхности, выявления уступов, технологических выборок, рисок, коррозионных повреждений и других видимых дефектов поверхности (приложение А);

- магнитопорошковый или капиллярный, или вихретоковый, или ультразвуковой контроль поверхностными волнами для выявления поверхностных эксплуатационных или металлургических дефектов (приложения Б, В, Г);

- ультразвуковой контроль с целью выявления скрытых дефектов различной ориентации в объеме поковки ротора (приложение Г);

Примечание – В том случае, если ультразвуковой контроль ротора проводился в соответствии с СТП 33240.17.400 после 100 тысяч часов эксплуатации и недопустимых дефектов при этом выявлено не было, повторный контроль ротора этим методом после исчерпания паркового ресурса допускается не проводить;

- факультативно - измерение остаточной деформации ползучести для оценки величины накопленной поврежденности в металле (приложение Д).

Примечание – Данный метод не применяется для контроля роторов производства НПО "ТУРБОАТОМ", роторов с уступами или выборками на поверхности осевого канала, препятствующими проведению измерения накопленной деформации ползучести.

**5.1.3** Последовательность проведения операций по контролю ротора со стороны осевого канала следующая:

- ротор установить на опорах с возможностью свободного вращения ротора в доступном для контроля месте на высоте, удобной для визуального контроля (от 1,0 м до 1,5 м) со свободным доступом к обоим концам (4 м или 5 м с каждого конца);

- снять автомат безопасности и удалить пробки, закрывающие с двух сторон осевой канал.

Примечание - При невозможности удаления пробок их высверливают.

- из осевого канала удалить частицы металла, стружка, масло и пр.
- поверхность канала протереть ветошью, обдуть сжатым воздухом, обезжирить ацетоном или другим растворителем;

## СТП XXXX.XX.430-XX

- провести предварительный визуальный осмотр поверхности для выявления уступов, выборок и пр.;
- провести измерение остаточной деформации ползучести (где эта операция запланирована);
- с помощью хонинговальной головки провести удаление окалины и обработать поверхности до шероховатости  $R_z = 40$  мкм по ГОСТ 2789, обдуть ее сжатым воздухом и обезжирить ацетоном или другим растворителем;
- провести визуальный контроль поверхности для оценки ее качества и выявления видимых дефектов;
- для выявления поверхностных дефектов провести контроль методами магнитопорошковой или капиллярной (цветной), или вихретоковой, или ультразвуковой дефектоскопии поверхностными волнами;
- при необходимости, провести фотографирование выявленных дефектов (приложение Е);
- провести ультразвуковой контроль металла ротора для выявления скрытых дефектов в объеме поковки;
- для получения исходных данных для последующих замеров провести повторное измерение диаметра канала по методике, описанной в приложении Д.

**5.1.4** Контроль ободов дисков следует проводить во время разлопачивания в зонах концентрации напряжений методами магнитопорошковой или вихретоковой, или цветной дефектоскопии.

Контроль ободов дисков с т-образным пазом под хвостовики лопаток допускается проводить методом ультразвуковой дефектоскопии без разлопачивания (приложение Ж).

В случае грибовидного обода при появлении зазоров между кромкой хвостовика и буртом диска, превышающих 0,2 мм по всей окружности или в локально ограниченных зонах, вопрос о необходимости разлопачивания обода согласовывается с заводом-изготовителем турбины.

**5.1.5** Контроль галтелей дисков и тепловых канавок (где они имеются) проводить методами магнитопорошковой, или цветной, или ультразвуковой (приложение К), или вихретоковой дефектоскопии (приложение Л). Вихретоковый контроль допускается проводить по незачищенной от окалины поверхности металла.

**5.1.6** Неразрушающий визуальный, капиллярный или вихретоковый, или магнитопорошковый контроль разгрузочных отверстий выполнять на поверхностях кромок и радиусных переходов отверстий с шириной зоны контроля не менее 20 мм от края кромки отверстия.

**5.1.7** К насадным дискам роторов турбин применять те же критерии недопустимости и методы контроля, как для дисков цельнокованого ротора.

## 5.2 Литые корпусные детали

**5.2.1** Контроль поверхности корпусных деталей турбин осуществлять в соответствии с заводскими или проектными формулярами контроля сплошности.

В случае отсутствия формуляров контролировать все радиусные переходы на наружной поверхности и доступные радиусные переходы на внутренней поверхности.

Наиболее вероятными местами появления трещин являются:

- паровпускные и пароотводящие патрубки;
- радиусные переходы на наружной и внутренней поверхностях клапанов и корпусов;
- кольцевая (для верха и низа цилиндра) зона перед сопловыми коробками;
- кольцевая (для верха и низа цилиндра) зона под сопловыми коробками;
- углы расточек под диафрагмы и обоймы;
- поверхность фланцевого разъема и отверстий под шпильки;
- улитки паровпуска и выхлопа цилиндров;
- дренажные отверстия и зоны патрубков отбора;
- патрубки подвода пара к концевым уплотнениям ротора;
- сварные соединения приварки опор соплового аппарата.

**5.2.2** Контроль металла корпусной детали должен включать:

- визуальный контроль поверхности, зачищенной от окалины;
- магнитопорошковый, капиллярный или вихретоковый контроль (приложение М);
- химическое травление - при наличии ремонтных заварок;
- ультразвуковой контроль с целью определения толщины стенки детали и выявления объемных металлургических дефектов в зоне обнаруженных трещин
- измерение глубины обнаруженных трещин различными методами (приложение Н).

**5.2.3** Результаты контроля следует оформлять в виде формуляра детали, на котором условным цветом отмечать места расположения дефектов, обнаруженных при каждом капитальном ремонте. Одновременно указать год контроля, исходные размеры дефекта, размеры выборки, принятое решение по ремонту (выборка, заварка, засверловка и т.д.) и толщина стенки в зоне с дефектами.

## **6 Исследование структуры и свойств стали**

### **6.1 Цельнокованные роторы высокого и среднего давлений**

**6.1.1** Для оценки степени структурных изменений, прошедших в металле ротора в процессе его эксплуатации, а также для выбора необходимых для определения расчетного ресурса ротора комплекса служебных свойств стали необходимо проводить исследование структуры и измерение твердости металла наиболее высокотемпературной зоны ротора - обода или полотна диска первой по ходу пара ступени (приложение П). Для сравнительного анализа аналогичные исследования проводить на металле наиболее низкотемпературной цельнокованой части ротора в аналогичных зонах.

**6.1.2** При решении вопроса о допуске в эксплуатацию ротора, содержащего дефекты или выработавшего свой индивидуальный ресурс, количество

## СТП XXXX.XX.430-XX

исследуемых зон и объем исследования структуры и свойств металла могут быть увеличены по согласованию со специализированной организацией по техническому диагностированию.

### 6.2 Литые корпусные детали

**6.2.1** Исследование структуры и свойств металла корпусов для оценки основных механических характеристик, определяющих надежность детали и позволяющих прогнозировать ее ресурс, проводить на вырезанных образцах из наиболее высокотемпературных зон корпуса по эскизам специализированной организации по техническому диагностированию.

**6.2.2** Дополнительно к вырезкам по эскизам следует проводить отбор спилов в местах образования трещин. В связи с неоднородностью литой детали минимальное поперечное сечение спила должно быть не менее 20 мм<sup>2</sup>. В связи с малыми размерами пробы результатами могут быть оценочные величины, полученные на малых единичных образцах, или с помощью корреляционных соотношений путем анализа структуры, твердости, кратковременных механических свойств и химического состава. Целью исследования является определение или приближенная оценка следующих механических характеристик и параметров микроструктуры:

- механических свойств при испытании на растяжение (1–2 образца);
- доли вязкой составляющей в изломах образцов при ударных испытаниях (1–2 образца);
- критического раскрытия при рабочей температуре (1–2 образца);
- твердости при комнатной и рабочей температурах;
- сведений о структурных составляющих, состоянии карбидной фазы, размере зерна, наличии пор ползучести;
- характеристик длительной прочности (1–2 образца);
- характеристик циклической и статической трещиностойкости (1–2 образца);

Указанные характеристики допускается определять с помощью экспресс-методов.

Методики оценки структурного состояния металла и определения нестандартных механических характеристик приведены в СТП 33240.17.400. В приложении Р описаны методические подходы к отбору образцов для исследования.

**6.2.3** При принятии решения о допуске в эксплуатацию детали, на которой оставлены трещины или имеются глубокие ремонтные подварки (более 70 % толщины стенки), количество исследуемых зон и объем исследования структуры и свойств металла может быть увеличен по согласованию со специализированной организацией.

## **7 Определение остаточного ресурса роторов и корпусных деталей турбин**

### **7.1 Общие положения**

Остаточный ресурс роторов и корпусных деталей определяется путем расчетных оценок (приложение С) с учетом:

- особенностей режимов эксплуатации данного турбоагрегата;
- уровня служебных характеристик материала;
- данных о фактической повреждаемости рассматриваемого объекта и аналогичных деталей по парку турбин;
- результатов оценки степени выработки ресурса экспериментальными методами (приложения Д, Т).

### **7.2 Цельнокованные роторы**

**7.2.1** Предельным состоянием для роторов является появление в нем макротрещины, размеры которой превышают нормы п.п. 9.1.2.5 и п.п. 9.1.2.6 настоящего Стандарта, после чего эксплуатация ротора без выполнения специальных мероприятий по восстановлению надежности недопустима.

**7.2.2** Для определения остаточного ресурса необходимо проводить оценку накопленной поврежденности и расчетного ресурса ротора (по стадии зарождения трещины). Величина расчетного остаточного ресурса представляет собой разность между расчетным ресурсом и наработкой детали на момент проведения работ по продлению срока службы.

Расчетная оценка времени живучести не включается в расчетный ресурс ротора, а служит для обоснованного выбора максимальных интервалов между осмотрами (и, если требуется, ремонтами) ротора, отработавшего индивидуальный расчетный ресурс, или ротора, не отработавшего этот ресурс, но содержащего дефекты, превышающие нормы п.п. 9.1.2.5 и п.п. 9.1.2.6 настоящего Стандарта.

**7.2.3** Для роторов, число пусков которых не превышает 300, а эксплуатация турбины проводилась в соответствии с требованиями эксплуатационной инструкции, допускается проводить экспериментальную оценку накопленной поврежденности в металле методом измерения остаточной деформации ползучести или расчетным путем без учета накопленной циклической поврежденности.

**7.2.4** При исчерпании расчетного ресурса, но положительных результатах контроля металла, допускается продление срока эксплуатации ротора до очередного технического диагностирования на период, определенный временем живучести, рассчитанным в соответствии с приложением С. Если при назначенном и последующих технических диагностированиях результаты контроля металла вновь окажутся положительными, допускается повторное (многократное) продление его срока эксплуатации на тот же период без дополнительных ограничений режимов эксплуатации.

**7.2.5** При обнаружении в роторе дефектов, превышающих нормы п.п. 9.1.2.5 и п.п. 9.1.2.6 настоящего СТП, но меньших, чем размеры недопустимых дефектов, рассчитанные в соответствии с приложением С, возможна его дальнейшая эксплуатация до очередного контроля в течение срока, определенного временем живучести, рассчитанного с учетом размеров выявленных дефектов, температурно-напряженного состояния металла в зоне расположения дефектов и свойств металла ротора. Роторы, содержащие такие дефекты, должны контролироваться по индивидуальной программе, разработанной специализированной организацией и находиться под наблюдением этой специализированной организации.

**7.2.6** В том случае, если в роторе обнаружены недопустимые дефекты, рассчитанные в соответствии с приложением С, его дальнейшая эксплуатация, без осуществления ремонтных и/или эксплуатационных мероприятий, изложенных в разделе 8, не разрешается.

Трещины любых размеров, возникшие в период эксплуатации ротора, недопустимы.

**7.2.7** При снижении свойств материала ротора ниже допустимого уровня (см. 9.1.2.7, 9.1.2.8) или накоплении остаточной деформации ползучести выше предельного уровня (см. 9.1.2.2) возможность его ограниченной эксплуатации определяет специализированная организация.

### **7.3 Корпусные детали**

**7.3.1** Предельным состоянием для корпусных деталей турбин является появление в них трещин определенной глубины, ограничивающих их надежную эксплуатацию в течение межремонтного периода. Эксплуатация таких деталей без выполнения специальных мероприятий по восстановлению надежности недопустима.

**7.3.2** Расчетный ресурс корпусов включает значения наработки, рассчитанные по стадиям зарождения и развития трещины согласно приложению С. Остаточный расчетный ресурс кованого корпуса определяется как разность между расчетным ресурсом и наработкой корпуса на момент проведения работ по продлению его срока службы, а литого - как время его живучести.

**7.3.3** При обнаружении в корпусе трещин он подвергается ремонту. Решение о возможности эксплуатации корпуса с трещинами без ремонта (в частности, с трещинами в недоступных для ремонта зонах), а также о методах, объеме и периодичности контроля такого корпуса следует принимать на основании заключения специализированной организации по техническому диагностированию.

**7.3.4** Для корпусных деталей турбин, в которых обнаружены трещины, глубиной превышающие 15 % толщины стенки, кроме расчетных оценок остаточного ресурса проводить определение их допускаемого времени живучести по фактической скорости роста трещины в соответствии с приложением Т. Решение о продлении срока эксплуатации таких деталей принимать на основании заключения специализированной организации с учетом результатов оценок

остаточного ресурса по двум подходам (приложения С и Т).

## **8 Технологические, конструктивные и режимные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности роторов и корпусных деталей турбин**

### **8.1 Общие положения**

**8.1.1** Технологические, конструктивные и режимные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности основных элементов турбин необходимо проводить при исчерпании этими элементами индивидуального ресурса или выявлении в них недопустимых дефектов при невозможности или нецелесообразности их немедленной замены.

**8.1.2** Технологические, конструктивные и режимные мероприятия включают: - изменение режима эксплуатации турбины с целью снижения темпа накопления поврежденности в металле;

- изменение конструкции детали с целью снижения уровня максимальных напряжений в детали при стационарных и переменных режимах работы турбины при последующей эксплуатации;

- ремонт поврежденных элементов турбин;

- изменение тепловой схемы турбины и организация подвода пара для нагрева (охлаждения) цилиндров с целью снижения эксплуатационных напряжений или температур для уменьшения темпа накопления повреждений;

- дополнительный контроль температурного состояния и деформаций поврежденных деталей, оставляемых в эксплуатации с не удаленными дефектами.

**8.1.3** Выбор конкретных технологических или режимных мероприятий, а также установление допустимого срока эксплуатации турбины после реализации выбранных мероприятий осуществлять по согласованию со специализированной организацией.

### **8.2 Изменение режима эксплуатации турбины**

**8.2.1** Снижение температуры свежего пара и пара промперегрева на номинальном режиме работы турбины. Рекомендуемая величина снижения температуры пара 20 °С – для турбин с промперегревом и 10 °С - для турбин без промперегрева. Снижение номинальной температуры пара целесообразно проводить только перед тем цилиндром, детали которого находятся в критическом состоянии.

Примечание – Снижение температуры пара должно выполняться с учетом возможного изменения условий эксплуатации деталей проточной части, работающих в зоне фазового перехода и во влажном паре турбин без ущерба их надежности.

### **8.2.2 Ограничение числа переменных режимов**

Турбина не должна участвовать в регулировании нагрузки энергосистемы, останавливаясь лишь для ремонта и в аварийных случаях.

### **8.2.3 Изменение режимов останова и расхолаживания турбины**

**8.2.3.1** Снижение нагрузки турбоагрегата перед остановом следует проводить на скользящем давлении (на тех блоках, которые допускают скользящее давление). Если разгрузка блока осуществляется при постоянном давлении свежего пара, то скорость снижения нагрузки должна быть в два раза меньше, чем указано в соответствующих эксплуатационных инструкциях.

**8.2.3.2** Следует отказаться от парового расхолаживания турбины перед выводом ее в ремонт и перейти на воздушное расхолаживание, при котором перепады температур в деталях меньше, чем при паровом.

**8.2.4** Снижение скорости изменения нагрузки при разгрузках турбоагрегата осуществлять в пределах регулировочного диапазона.

Изменение нагрузки в регулировочном диапазоне следует проводить на скользящем давлении, если котел допускает такой режим. Если изменение нагрузки осуществляется при постоянном давлении пара, то скорость ее изменения должна быть в два раза меньше, чем указано в соответствующих инструкциях.

### **8.2.5 Щадящие пусковые режимы**

**8.2.5.1** Скорость роста температуры свежего и вторично-перегретого пара в процессе нагружения турбоагрегата после включения в сеть, так же, как и скорость роста нагрузки не должна превышать 0,7 от значений, указанных в типовых инструкциях по пуску энергоблока (турбоагрегата) и в инструкциях по эксплуатации.

**8.2.5.2** Исключить подачу пара в турбину при недостаточно прогретых паропроводах, перепускных трубах и корпусах стопорных клапанов – главный источник высоких растягивающих температурных напряжений в деталях при пусках из горячего и неостывшего состояния.

**8.2.5.3** Обеспечить взятие минимально возможной нагрузки после включения турбоагрегата в сеть при пусках турбины из холодного состояния. Целесообразно для этой цели использовать частичное прикрытие пускосбросного устройства (ПСБУ) после включения турбоагрегата в сеть.

**8.2.5.4** Не применять при пусках турбин сверхкритического давления (далее СКД) специальный этап перехода на номинальное давление. Вести начальный этап нагружения при неизменном положении частично открытых регулирующих клапанов цилиндра высокого давления (далее ЦВД), как это рекомендуется типовыми инструкциями.

### **8.2.6 Качество ведения переходных режимов**

Обязательным условием является поддержание температуры пара перед цилиндрами турбины в пределах  $\pm 20$  °С от инструктивного графика-задания, а также строгое соблюдение графика нагружения турбоагрегата, особенно на начальной стадии после включения в сеть. Наилучшим решением является автоматизация пусковых процессов, обеспечивающая выполнение этих требований.

### 8.3 Ремонт поврежденных элементов

#### 8.3.1 Удаление поврежденного поверхностного слоя

**8.3.1.1** Накопление повреждений от ползучести и малоцикловой усталости локализовано в приповерхностном слое. Повреждения, связанные с переменными режимами, практически полностью локализованы в слое, толщиной до 0,1 мм, а связанные с ползучестью - в значительной степени в подповерхностном слое на глубине от 0,1 мм до 2,0 мм. Ресурс цельнокованных роторов и корпусных деталей турбин на стадии зарождения трещин может быть существенно увеличен периодическим удалением поврежденного поверхностного слоя. Наибольший эффект эта операция может дать при проведении работ по увеличению ресурса роторов.

**8.3.1.2** В цельнокованных роторах по истечении расчетного ресурса и при наличии поверхностных незначительных дефектов целесообразно выполнить операцию по снятию поверхностного слоя на глубину 0,5 мм в следующих зонах с рабочей температурой металла, превышающей 400 °С:

- тепловых канавок концевых, промежуточных и диафрагменных уплотнений;
- галтелей дисков;
- на поверхности осевого канала.

**8.3.1.3** Удаление слоя с наружной поверхности ротора (в тепловых канавках и придисковых галтелях) следует проводить в условиях машиностроительного завода, располагающего необходимым станочным оборудованием, или в условиях электростанции на балансировочном станке маятникового типа, в присутствии представителя специализированной организации. Операцию по удалению поверхностного слоя на наружной поверхности ротора целесообразно совместить с операцией по изменению формы тепловых канавок, описанной в 8.3.1.2.

**8.3.1.4** Удаление поврежденного слоя на глубину 0,5 мм с поверхности осевого канала допускается проводить в условиях электростанции с помощью хонинговальной головки и совместить эту операцию с зачисткой поверхности канала от окалины для проведения ее дефектоскопического контроля.

Более полное восстановление ресурса металла в районе осевого канала можно получить увеличением толщины удаляемого слоя до 2 мм. Подобная операция может быть выполнена в заводских условиях.

**8.3.1.5** При реализации операции по удалению поврежденного поверхностного слоя ресурс ротора будет лимитироваться состоянием металла в зонах, где эта операция не реализуется (обода дисков) и сохранением служебных свойств стали на необходимом для обеспечения надежной эксплуатации ротора уровне.

**8.3.2** При выявлении на поверхности осевого канала поверхностных дефектов допускается их выборка расточкой до увеличения диаметра канала на 15 мм. Предпочтительнее проводить расточку канала на всю длину ротора на одинаковую глубину. Допускается выполнять локальную (местную) выборку

дефекта на указанную глубину с последующим плавным переходом на основной диаметр. При выявлении более глубоких дефектов технология ремонта ротора должна согласовываться со специализированной организацией.

**8.3.3 Ремонт корпусных деталей с дефектами.**

**8.3.3.1** Удаление дефектов допускается осуществлять любым механическим способом. Не допускаются методы и технологии, приводящие к нагреву металла выше 650 °С. Предварительно следует определить глубину дефектной зоны.

**8.3.3.2** Глубина оставляемых без заварки ремонтных выборок может превышать 15 % толщины стенки в зависимости от зоны корпуса, свойств и структуры металла, опыта эксплуатации корпусов той же конструкции с аналогичными не заваренными выборками. Решение по этому вопросу, с учетом перечисленных факторов, должно приниматься по согласованию со специализированной организацией или заводом-изготовителем турбины.

**8.3.3.3** Для снижения концентрации напряжений в местах удаления трещины, выборки, оставляемые без заварки, должны скругляться радиусом не менее 10 мм. У выборок глубиной до 15 % толщины стенки уклоны выполнять крутизной не более 30 ° по отношению к исходной поверхности. При разделке более глубоких выборок уменьшение угла наклона боковых поверхностей выборки нецелесообразно из-за большого объема механической обработки и относительно слабого снижения эксплуатационных напряжений. Для них требуется, чтобы ширина выборки была не менее 30 мм и радиус кривизны дна выборки составлял не менее 15 мм. Если ширину по тем или иным причинам нельзя увеличить, переход от профиля донной части выборки в виде дуги окружности к эллипсной форме с соотношением полуосей эллипса 1/2 позволяет снизить концентрацию напряжений еще на 20 %.

**8.3.3.4** Использование аустенитного варианта заварки целесообразно применять при ремонте зон корпусных деталей с рабочей температурой металла не выше 400 °С. Более высокотемпературные зоны рекомендуется ремонтировать специальными перлитными электродами без термической обработки детали в соответствии с ТНПА.

**8.3.3.5** Технология ремонтной заварки без термической обработки следует выбирать в зависимости от температуры металла в зоне ремонта, объема выборки и соответствия металла критериям надежности (согласно разделу 9). При общем объеме отдельной выборки более  $10 \times 10^5$  мм<sup>3</sup> (что равно 1 литр или 1000 см<sup>3</sup>) или глубине свыше 40 % толщины стенки, технологию заварки должна выбирать специализированная организация.

**8.3.3.6** В случае образования сквозных трещин планируемые ремонтные мероприятия следует согласовывать со специализированной организацией.

**8.4 Рекомендации по дополнительному эксплуатационному контролю поврежденных или исчерпавших свой расчетный ресурс корпусных деталей**

## турбин

**8.4.1** При приближении срока эксплуатации корпусных деталей турбины к их индивидуальному ресурсу или при необходимости их дальнейшей эксплуатации с не удаленными дефектами для обеспечения требований безопасности и надежности эксплуатации турбины необходимо выполнять расчетную оценку остаточного ресурса, времени живучести и определять периодичность контроля корпусных деталей с трещинами.

**8.4.2** Система слежения за ростом трещины включает непрерывный локальный контроль температуры и давления с наружной стороны детали в зоне возможного пропаривания для раннего оповещения об аварийной ситуации.

## 9 Критерии эксплуатационной надежности металла основных элементов турбин

В настоящем разделе описаны критерии эксплуатационной надежности роторов и корпусных деталей турбин, относящиеся к экспериментальным методам контроля за металлом. Расчетные критерии надежности, относящиеся к определению расчетом допустимой величины накопленной поврежденности, допустимых и критических размеров дефектов, а также запасы прочности по напряжениям и деформациям, запасы по циклической и статической долговечности и др. приведены в приложении С.

### 9.1 Цельнокованные роторы

**9.1.1** До исчерпания расчетного ресурса срок эксплуатации (в часах наработки) роторов высокого и среднего давления, эксплуатирующихся при температуре пара 450 °С и выше, может быть увеличен сверх паркового ресурса без ограничений по срокам и объемам обследования и режимам эксплуатации турбины при положительных результатах контроля металла в соответствии с 9.1.2 настоящего СТП.

**9.1.2** Состояние металла роторов может быть признано удовлетворительным, если соблюдены следующие условия:

**9.1.2.1** На поверхности осевого канала отсутствуют глубокие выборки, уступы, подрезы, препятствующие проведению дефектоскопического контроля канала;

**9.1.2.2** Величина накопленной остаточной деформации ползучести, измеренная со стороны осевого канала, для роторов из сталей Р2 и Р2МА не превышает 1,0 %, а для роторов из других марок сталей - 0,8 %; средняя скорость ползучести, определенная по результатам двух или более измерений, не превышает для роторов из сталей Р2 и Р2МА  $0,5 \cdot 10^{-5}$  %/час, а для роторов из других марок сталей -  $0,4 \cdot 10^{-5}$  %/час;

**9.1.2.3** На поверхности осевого канала в районе высокотемпературной зоны (рабочая температура металла – 400 °С и выше) отсутствуют крупные одиночные равноосные дефекты с диаметром 3 мм и более или скопление более мелких

## **СТП XXXX.XX.430-XX**

дефектов в количестве более 10 шт. на площади 6000 мм<sup>2</sup>. Точечные дефекты размером менее 1,5 мм не учитываются.

**9.1.2.4** Отсутствуют коррозионные повреждения поверхности осевого канала в районе низкотемпературных зон глубиной более 2 мм.

**9.1.2.5** На наружной поверхности ротора и на поверхности осевого канала отсутствуют протяженные трещиноподобные дефекты глубиной более 1 мм.

**9.1.2.6** В объеме поковки отсутствуют дефекты, размер которых по сопоставлению с плоскими отражателями, а также их количество не превосходят следующие нормы:

- общее количество дефектов с эквивалентной площадью от 2 мм<sup>2</sup> до 4 мм<sup>2</sup> включительно не превышает 30 шт., в том числе в районе бочки не более 10 шт., причем, в зоне бочки дефекты должны находиться на расстоянии не менее 50 мм друг от друга;

- отдельные дефекты с эквивалентной площадью от 2 мм<sup>2</sup> до 4 мм<sup>2</sup> включительно в обоих концах ротора должны находиться на расстоянии не менее 50 мм друг от друга, если они расположены на одной прямой параллельной оси ротора; не менее 30 мм, если они располагаются на одной окружности, и не менее 15 мм, если дефекты располагаются в одном радиальном направлении;

- отдельные разрозненные дефекты эквивалентным диаметром до 2 мм<sup>2</sup> включительно не учитываются;

- дефекты с эквивалентной площадью от 4 мм<sup>2</sup> до 6 мм<sup>2</sup> включительно с расстоянием между ними не менее 50 мм допускаются в количестве не более 10 шт. по длине ротора;

- дефекты с эквивалентной площадью более 6 мм<sup>2</sup> в роторе не допускаются.

**9.1.2.7** Степень сфероидизации (дифференциации) второй структурной составляющей в металле высокотемпературных ступеней ротора не должна превышать 3 балл по шкале СТП 33240.17.102.

**9.1.2.8** Твердость металла высокотемпературной зоны ротора из стали ЭИ 415 не ниже 200 НВ, а из других марок сталей - не ниже 180 НВ.

**9.1.3** После исчерпания расчетного ресурса, но положительных результатах контроля металла в соответствии с 9.1.2, ротор допускается к дальнейшей эксплуатации. Срок его эксплуатации до очередного контроля состояния металла и объем этого контроля определяет специализированная организация.

**9.1.4** При неудовлетворительных результатах контроля металла возможность и условия дальнейшей эксплуатации ротора, а также использование тех или иных мероприятий по повышению надежности его эксплуатации, изложенных в разделе 8, определяет специализированная организация по техническому диагностированию.

## **9.2 Корпусные детали**

**9.2.1** Основными критериями надежности металла корпусных деталей являются:

- состояние структуры и уровень физико-механических свойств металла;
- фактическая средняя скорость роста трещины за межремонтный период;

– глубина трещины, в том числе в зонах, недоступных для ремонта.

**9.2.2** Требования по структуре и свойствам металла при комнатной и рабочей температуре, определяемым на образцах и спилах по эскизам, высылаемым специализированной организацией, приведены в таблице 9.1.

**Таблица 9.1 – характеристика стали**

| Механическая или структурная характеристика и единица измерения            | Температура испытания, °С | Допустимая величина (не менее) для сталей марок |              |              |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                            |                           | 15Х1М1ФЛ                                        | 20ХМФЛ       | 20ХМЛ        |
| 1. Предел текучести, МПа                                                   | 20                        | 255                                             | 245          | 220          |
| 2. Доля вязкой составляющей в изломе ударного образца Шарпи (KCV), %       | 150/80                    | 100/50                                          | 100/50       | 100/50       |
| 3. Ударная вязкость (KCV), кДж/м <sup>2</sup>                              | 150/80                    | 300                                             | 300          | 300          |
| 4. Критическое раскрытие при ударном нагружении, мм *                      | Температура пара на входе | 0,25                                            | 0,25         | 0,25         |
| 5. Горячая твердость, МПа                                                  | То же                     | 850                                             | 950          | 900          |
| 6. Твердость, НВ                                                           | 20                        | 145                                             | 140          | 115          |
| 7. Количество пор ползучести диаметром > 2,0 мкм в одном поле зрения, х500 | 20                        | 3 (не более)                                    | 5 (не более) | 5 (не более) |
| * Методика испытания изложена в СТП 33240.17.400.                          |                           |                                                 |              |              |

**9.2.3** Фактическая средняя скорость роста трещины за межремонтный период не должна превышать  $10^{-3}$  мм/ч.

**9.2.4** В случае невозможности удаления имеющейся трещины, а также при прочих неудовлетворительных результатах контроля металла возможность и условия дальнейшей эксплуатации корпуса, использование мероприятий по повышению надежности его эксплуатации, изложенных в разделе 8, определяет специализированная организация.

## **10 Роторы генератора, бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажных узлов роторов генераторов**

### **10.1 Роторы генераторов**

**10.1.1** Для своевременного обнаружения дефектов и предотвращения повреждения роторов турбоагрегатов необходимо:

- проводить во время ремонта без снятия бандажных колец профилактические осмотры поверхности бочки ротора вблизи носика бандажных колец, а также мест стыка пазовых клиньев в большом зубе;
- проводить профилактические осмотры концевых зон и стыка пазовых клиньев в большом зубе во время ремонта со снятием бандажных колец, а также во

## СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ

всех случаях, когда обнаружены цвета побежалости, подкалы или трещины на бочке ротора;

- проводить профилактические осмотры бочки ротора со снятием бандажных колец не позднее, чем через шесть месяцев во всех случаях, когда имели место длительные несимметричные режимы с  $I_2 \geq 8\% I_N$ , кратковременная работа в несимметричных режимах или несимметричные короткие замыкания с  $I_2^2 \cdot t > 8$  с (где  $I_2$  – кратность тока обратной последовательности к  $I_N$ ), длительные асинхронные режимы с активной нагрузкой, превышающей допустимую, и асинхронные пуски;

- проводить при каждом капитальном ремонте с выемкой ротора визуальный, капиллярный или вихретоковый контроль поверхности галтелей вала для обнаружения зарождающихся трещин;

- проводить дополнительную шлифовку поверхности галтелей при обнаружении на них рисок, раковин, язв и т.п.;

- при каждом ремонте ротора со снятием бандажных колец проводить визуальный, капиллярный и вихретоковый контроль в сочетании с металлографией бандажных колец;

- при каждом ремонте ротора со снятием бандажных колец проводить визуальный, капиллярный или вихретоковый контроль накладных гаек и центрирующих колец бандажного узла;

- проводить в период очередных капитальных и средних ремонтов турбоагрегатов с выводом роторов неразрушающий контроль визуальным, капиллярным или магнитопорошковым методами лопаток вентиляторов роторов генераторов;

- проводить в период очередных капитальных и средних ремонтов с выводом ротора неразрушающий контроль визуальным, капиллярным или магнитопорошковым методами ступиц ротора.

**10.1.2** Осмотр и ремонт роторов турбоагрегатов в случаях обнаружения подгаров, подкалов, оплавлений, трещин и других дефектов на бочке ротора проводить в соответствии с приложением У.

**10.1.3** С целью контроля за условиями эксплуатации турбоагрегатов выполнять фиксировать в журнале релейной защиты и автоматики время, причины и параметры несимметричных режимов турбоагрегатов, критерий термической стойкости которых приближается к предельно допустимому значению или превосходит его.

**10.1.4** О всех случаях выявления повреждений роторов генераторов сообщать в ГПО «Белэнерго» (УЭЭО), указав дату и причину возникновения несимметричного режима, его интенсивность ( $I_2^2 \cdot t$ ), изменение твердости металла ротора в подкаленных местах, размеры и расположение трещин, особенности динамики вибрационного состояния ротора.

## **10.2 Бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажных узлов роторов генераторов**

**10.2.1** Для своевременного обнаружения дефектов и предотвращения разрушений бандажных колец (далее - б.к.) необходимо:

**10.2.1.1** Проводить согласно приложению Ф, Х профилактический осмотр и дефектоскопию б.к., вспомогательных элементов бандажных узлов, указанные в таблице 10.1, а также во всех случаях их демонтажа по другим причинам:

- на резервных роторах с б.к. из коррозионнонестойкой стали и сроком хранения более 1 года или при нарушении условий хранения - перед их заводкой в статор.

**10.2.1.2** Проводить ремонт бандажных, защитных колец и накидных гаек в случаях обнаружения признаков коррозионного растрескивания или других повреждений в соответствии с приложением Ф.

**10.2.1.3** На турбоагрегатах с бандажными кольцами, изготовленными из коррозионнонестойкой стали, наносить защитный слой антикоррозионной эмали или другого антикоррозионного покрытия, которое по гарантиям изготовителя имеет высокую механическую прочность, термостойкость не ниже 280 °С и не выделяет при длительном воздействии рабочей температуры от 80°С до 100°С химически активных веществ, особенно паров хлора. Защитный слой наносится на все внутренние и наружные поверхности бандажных, защитных колец и накидных гаек, за исключением посадочных поверхностей и резьбовой части в конструкции с накидной гайкой. Посадочная поверхность носика бандажного кольца в конструкции с изоляционной прокладкой между б.к. и зубцами бочки ротора также должна быть покрыта антикоррозионной эмалью.

**10.2.1.4** При ремонтах генераторов с выводом ротора без снятия бандажей после очистки от грязи и масла, осмотреть на предмет отсутствия коррозионных трещин и других дефектов:

- визуально: бочку ротора, пазовые клинья ротора, контактные кольца, центробежные вентиляторы, защитные кольца и накидные гайки;

- с помощью лупы: вал, вентиляционные пазы звездочки ротора, центрирующие кольца, ступицы вентиляторов и лопасти вентиляторов.

В генераторах с бандажными узлами, покрытыми защитной антикоррозионной эмалью, осмотр осуществляется в местах нарушения эмалевого покрытия наружных поверхностей элементов бандажных узлов, а также на сомнительных участках поверхности, очищенной от эмали для осмотра. При отсутствии видимых дефектов восстановить покрытие в местах, где была нарушена или удалена эмаль, а в случае применения других покрытий - рекомендациями его изготовителя.

## СТП XXXX.XX.430-XX

**Таблица 10.1** - Периодичность проведения профилактических осмотров с демонтажом бандажных узлов и вентиляторов

| Турбоагрегаты                                                                                                                                                                                      | Периодичность проведения профилактических осмотров с демонтажом бандажных узлов и вентиляторов не реже, (лет) |                          |                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                    | Материал бандажного кольца                                                                                    |                          |                                |
|                                                                                                                                                                                                    | Коррозионнонестойкие стали                                                                                    | Коррозионностойкие стали | Алюминиевые и титановые сплавы |
| Мощностью до 500 МВт включительно:<br>- однопосадочная и двухпосадочная (с прорезными центрирующими кольцами повышенной эластичности разработки АО "ЦКБ Энергоремонт») конструкция бандажного узла | от 8 до 10                                                                                                    | от 15 до 16              | от 15 до 16                    |
| -двухпосадочная конструкция бандажного узла заводского исполнения                                                                                                                                  | от 4 до 5                                                                                                     | от 8 до 10               | от 15 до 16                    |
| С водяным охлаждением обмотки ротора заводского исполнения                                                                                                                                         | по согласованию с заводом-изготовителем                                                                       | от 8 до 10               | от 15 до 16                    |
| Профилактический осмотр алюминиевых и магнитных бандажей совмещается с капитальным ремонтом.                                                                                                       |                                                                                                               |                          |                                |

**10.2.1.5** Обеспечить выполнение норм правил технической эксплуатации (далее - ПТЭ) в части отсутствия воды в эксплуатационном турбинном масле, подаваемом в систему маслоснабжения водородных уплотнений. При хранении бандажных, защитных колец, накидных гаек, лопаток вентиляторов, ступиц вентиляторов и роторов в сборе в период их монтажа и ремонта исключить попадание и конденсацию влаги на них.

**10.2.1.6** При нарушении требований, указанных в п.п. 10.2.1.5, а также при работе турбоагрегатов с любой конструкцией бандажных узлов в несимметричных и асинхронных режимах с продолжительностью и перегрузками выше допустимых, проводить внеочередной профилактический осмотр и неразрушающий контроль со снятием б.к., вспомогательных элементов бандажных узлов.

**10.2.1.7** Проводить ремонт бандажных колец по согласованию с заводом-изготовителем или специализированной организацией.

**10.2.1.8** Роторы, находящиеся в резерве на длительном хранении, а также поковки бандажных колец, лопатки вентиляторов и ступицы вентиляторов должны

храниться в специально отведенных местах. При этом должны быть обеспечены следующие условия:

- наличие упаковки из негигроскопичных материалов;
- расположение в стороне от сквозняков, в местах с минимальными колебаниями температуры окружающего воздуха;
- исключение попадания на поверхность ротора и его элементов пыли, грязи, посторонних предметов, влаги, пара, сварочного грата и т.д.;
- отсутствие рядом с ротором мест скопления воды, пожарных гидрантов, работающих насосов и прочих возможных источников увлажнения.

**10.2.1.9** Применять для осушки водорода холодильные устройства, обеспечивая температуру точки росы (влажность) водорода в корпусе генератора при рабочем давлении ниже, чем температура воды на входе в газоохладитель, но не выше 15 °С.

**10.2.1.10** Величина натяга элементов бандажных узлов при их установке на ротор должна соответствовать конструкторской документации завода-изготовителя, инструкции по эксплуатации, а так же, ориентировочно, данным таблицы 10.2.

**Таблица 10.2 – Величина натяга элементов бандажных узлов**

| Тип генератора                                                         | Величина натяга и сочленения, мм |                                      |                                |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                        | Бандажное кольцо-бочка ротора    | Бандажное кольцо-центрирующее кольцо | Центрирующее кольцо-вал ротора |
| 1                                                                      | 2                                | 3                                    | 4                              |
| T2-25-2; ТВ2-30-2                                                      | от 1,2 до 1,07                   | от 1,3 до 1,17                       | от 0,45 до 0,35                |
| TBC - 30                                                               | -                                | от 1,1 до 0,97                       | от 0,45 до 0,385               |
| ТВ-50-2; ТВ-60-2<br>(Z-образное центрирующее кольцо)                   | от 1,9 до 1,755                  | от 1,6 до 1,455                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВФ-60-2; ТВФ-63-2                                                     | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВФ-100-2; ТВФ-120-2                                                   | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВВ-165-2                                                              | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВВ-320-2                                                              | от 2,4 до 2,24                   | от 2,2 до 2,055                      | -                              |
| *Примечание - Для других типов генераторов – согласно заводским данным |                                  |                                      |                                |

### 10.3 Вентиляторы роторов генераторов

**10.3.1** Закрепленными по сторонам бочки ротора вентиляторами осуществляется циркуляция охлаждающего воздуха в корпусе генератора.

**10.3.2** Основными нагруженными элементами вентилятора являются лопадки вентилятора, ступицы вентилятора, рабочие колеса вентиляторов, гайки корончатые и шпильки конические. Также возможны появления трещин в отверстиях креплений обтекателя вентилятора.

**10.3.2** Контроль лопаток осевого вентилятора связан с их снятием с вентиляторной установки и транспортировкой к зоне проведения неразрушающего контроля. Контроль лопаток центробежного вентилятора связан с обеспечением доступности сварных соединений лопаток и тела лопаток к контролю.

**10.3.3** Контроль ступиц и рабочих колес вентиляторов с целью раннего обнаружения зарождающихся дефектов осуществляется при их снятии с ротора.

**10.3.4** Гайки корончатые и шпильки конические контролируются при снятии лопаток вентиляторов.

**10.3.5** Отверстия в обтекателе вентилятора под крепления к корпусу контролируют визуальным методом на предмет наличия трещин при каждой разборке.

**10.3.6** Неразрушающий контроль элементов вентиляторов со снятием с вала ротора проводить в период проведения капитальных ремонтов.

**10.3.7** В период средних ремонтов с выводом ротора проводить неразрушающий контроль элементов вентилятора без снятия с ротора в доступных для контроля местах. В сомнительных случаях выполнять снятие отдельных элементов вентилятора с целью проведения дальнейшего контроля.

**10.3.8** Следует отметить, что конструкция вентиляторов в большинстве случаев предусматривает посадку ступиц и колес вентиляторов на бочку ротора под натягом. При съеме и установке ступиц и колес вентиляторов величину натяга соблюдать в соответствии с конструкторской, ремонтной или эксплуатационной документацией. В случае отсутствия информации о натягах в документации следует запрашивать ее у заводов-изготовителей или у специализированных организаций.

**10.3.9** На отдельных типах генераторов операции по съему-установке ступиц и колес вентиляторов связаны с высокой технико-экономической сложностью, превышающей возможные риски возникновения дефектов. Высокая технико-экономическая сложность связать с:

1) риском некачественной повторной зачеканки или кернения стопорных винтов лопаток, а также с возможностью их повреждения;

2) необходимостью разборки и последующей сборки других, более сложных узлов ротора, требующих отдельной технологии проведения работ на якоре возбuditеля, узлах токоподвода, и полумуфты, последующая сборка которых, приведет к риску разбалансировки заводской конструкции.

Принятие решения о проведении неразрушающего контроля и инспекции элементов вентилятора без снятия с ротора осуществляется с участием эксплуатирующей организации и ремонтного предприятия в установленном порядке с оформлением соответствующего комиссионного технического решения.

## **Приложение А**

### **Визуальный контроль поверхности осевого канала**

**А.1** Перед проведением визуального контроля проводится осмотр поверхности осевого канала:

- для оценки состояния поверхности после зачистки, продувки сжатым воздухом, протирки ветошью и обезжиривания (фиксировать состояние окалины, наличие локальных выборок, камер, уступов, задиров);
- для оценки качества зачистки поверхности от окалины и непосредственного контроля на предмет выявления видимых дефектов в осевом канале (после зачистки поверхности канала хонинговальной головкой).

**А.2** Визуальный контроль проводить с помощью видеоэндоскопов или специальных устройств, предназначенных для инспекций внутренних поверхностей. Видеоэндоскопы или специальные устройства должны быть снабжены измерительной функцией для оценки размеров дефектов.

**А.3** Длина видеоэндоскопа в собранном виде должна соответствовать длине ротора. При осмотре канала отдельно с обоих концов длина эндоскопа должна составлять не менее половины длины ротора с наличием запаса длины для выполнения управления и манипуляций с устройством эндоскопа.

**А.4** При контроле осевого канала необходимо использовать центрирующие диски. Диаметр дисков выбирается в зависимости от диаметра осевого канала ротора. Во избежание образования царапин на контролируемой поверхности рекомендуется центрирующие диски изготавливать из мягких материалов (фторопласта, текстолита и т.п.). Допускается кромки штатных металлических дисков покрывать мягким материалом (изоляционной лентой).

**А.5** Визуальному контролю подлежит поверхность осевого канала по всей длине ротора. Отдельные места поверхности в случае необходимости просматриваются более тщательно с трехкратным увеличением.

**А.6** В собранном виде эндоскоп осторожно вводить в осевой канал объективом вперед. Поверхность канала осматривать по мере медленного продвижения прибора.

**А.7** При обнаружении дефекта эндоскоп установить в положение наилучшей видимости дефекта. Координаты дефекта фиксировать по его удалению (в мм) от торца ротора и по его ориентации в окружном направлении (указать номер отверстия на полумуфте, против которого расположен дефект). Размеры дефекта устанавливать и фиксировать посредством программного обеспечения видеоэндоскопа. Изображение дефектов и способ измерения размеров дефектов отражать в протоколе контроля.

**А.8** Результаты контроля занести в протокол, где указать:

- тип прибора;
- наличие на поверхности канала локальных выборок, камер, уступов, задиров;
- качество зачистки поверхности канала от окалины;
- изображение дефекта полученного видеоэндоскопом;

#### **СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ**

- способ измерения размеров дефекта;
- результаты контроля с указанием координат, размеров и характера выявленных дефектов.

energodoc.by

## **Приложение Б**

### **Магнитопорошковая (капиллярная) дефектоскопия поверхности осевого канала ротора**

#### **Б.1 Общие положения**

**Б.1.1** Магнитопорошковый контроль распространяется на паровые турбины, роторы которых изготовлены из низко- и среднелегированных сталей перлитного класса:

- хромомолибденовых;
- хромомолибденованадиевых;
- хромомолибденовольфрамованадиевых.

**Б.1.2** Стандарт не распространяется на роторы, имеющие в осевом канале местные расточки и выборки в виде камер, не подлежащие зачистке и контролю МПД.

**Б.1.3** Магнитопорошковый контроль осевого канала ротора не гарантирует выявление дефектов, плоскости которых параллельны направлению магнитного потока или составляют с ним угол менее  $30^\circ$ .

**Б.1.4** Контролю магнитопорошковым методом подлежит поверхность осевого канала ротора турбины, принятая по результатам визуального контроля. МПД должен предшествовать ультразвуковой дефектоскопии.

**Б.1.5** Магнитопорошковый контроль по данному стандарту обеспечивает выявление продольных поверхностных и подповерхностных дефектов типа трещин, усредненные параметры которых превышают следующие значения: раскрытие 10 мкм и более, глубина 0,1 мм и более, протяженность 1,0 мм и более.

Данный уровень чувствительности соответствует условному уровню чувствительности «Б» по ГОСТ 21105.

**Б.1.6** Шероховатость контролируемой поверхности для достижения заданного уровня чувствительности не должна превышать величины  $R_z=10$  мкм.

**Б.1.7** Организация, выполняющая магнитопорошковый контроль, должна быть оснащена серийными и специализированными дефектоскопами, контрольными образцами, электроизмерительной аппаратурой для контроля режимов намагничивания и размагничивания и устройствами для нанесения магнитной суспензии на контролируемую поверхность канала ротора.

**Б.1.8** Создание необходимых условий для выполнения работ по контролю являются обязательным для предприятия владельца диагностируемого оборудования.

**Б.1.9** К выполнению работ по магнитопорошковому контролю допускаются аттестованные специалисты первого, второго и третьего уровней квалификации.

**Б.1.10** Руководство работами по контролю и периодическая проверка качества выполняемых работ должны быть возложены на квалифицированных специалистов второго и третьего уровня, которые наряду с дефектоскопистами несут ответственность за достоверность результатов контроля.

**Б.1.11** Контроль следует проводить звеном из двух-трех специалистов, один

из которых должен иметь право на выдачу заключения по результатам контроля.

## **Б.2 Аппаратура и средства контроля**

### **Б.2.1 Дефектоскопическая аппаратура и средства контроля**

#### **Б.2.1.1 Используемые для контроля дефектоскопы должны обеспечивать:**

- намагничивание изделий выпрямленным (однополупериодным или двухполупериодным) и импульсным видами токов;
- размагничивание канала ротора переменным или знакопеременным (выпрямленным импульсным) токами с уменьшающейся амплитудой;
- напряженность магнитного поля на поверхности контролируемого осевого канала ротора, величина которой определена в Б.3.5, Б.3.6 и достаточной для достижения чувствительности при выявлении дефектов, указанных в Б.1.5 настоящей инструкции.

**Б.2.1.2** Передвижные, переносные и специализированные дефектоскопы должны оснащаться измерителями намагничивающего тока или поля с погрешностью измерения не более 10 %.

**Б.2.1.3** Измерительные приборы и средства контроля, применяемые при дефектоскопии осевого канала ротора турбины, подлежат периодической проверке не реже, чем один раз в год, в установленном порядке.

**Б.2.1.4** Для проведения МПД поверхности осевого канала ротора следует использовать следующее оборудование и принадлежности:

- передвижные дефектоскопы, позволяющие проводить как намагничивание, так и размагничивание ротора;
- выпрямители универсальные для сварки (не предусматривающие схемы размагничивания) типа ВСВУ - 400, ВДУ - 506, ВКСМ - 1000, ПСМ - 500 и др.;
- краскопульт ручной;
- видеоэндоскоп для инспекций внутренних полостей с функцией измерения для визуального контроля поверхности;
- труба диаметром от 50 до 60 мм из немагнитного токопроводящего материала, например дюралюминия, пластика и т.п.;
- кабель сварочный сечением 25–30 мм<sup>2</sup> и длиной 120 м в резиновой или хлорвиниловой изоляции;
- переносной источник ультрафиолетового облучения;
- магнитометр для измерения напряженности магнитного поля;
- анализатор контроля концентрации и качества магнитной суспензии.

### **Б.2.2 Контрольные образцы**

**Б.2.2.1** Форма образца и расположение имитаторов дефектов (реальных дефектов) должны позволять проводить проверку качества магнитной суспензии и работоспособность дефектоскопа по заданным расчетному режиму и технологии контроля.

Общий вид контрольного образца показан на рисунке Б.1.

**Б.2.2.2** Основной параметр имитатора дефекта контрольного образца - ширина раскрытия, должен удовлетворять требованию условного уровня чувствительности «Б» по Б.1.5.

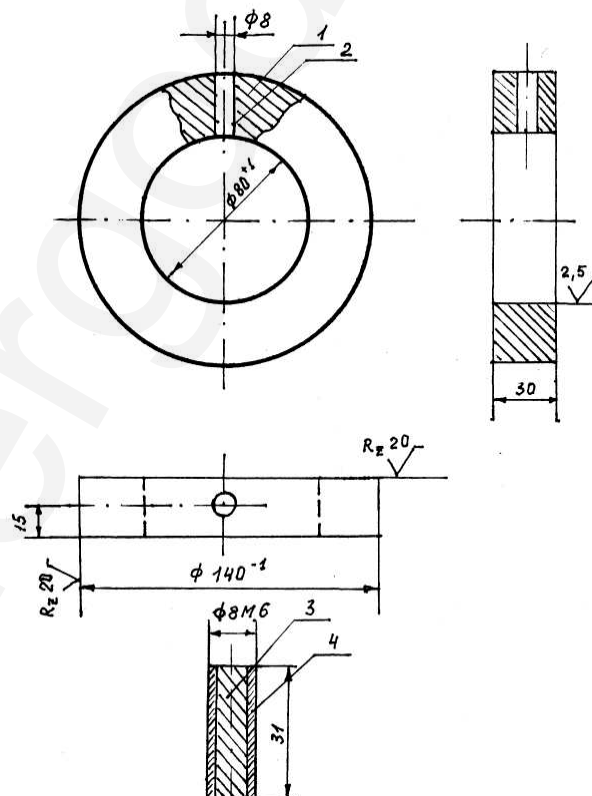
**Б.2.2.3** Аттестация контрольных образцов должна проводиться специализированными организациями.

**Б.2.2.4** Переаттестация контрольного образца должна проводиться один раз в 2 года. Результаты переаттестации заносятся в паспорт.

**Б.2.2.5** На контрольный образец следует составлять паспорт, содержащий:

- фотографию с индикаторными следами магнитного порошка над выявленными дефектами;
- материал образца;
- способ контроля, вид и схему намагничивания;
- вид намагничивающего тока или поля и их величину;
- количество дефектов, длину каждого или общую их протяженность;
- свидетельство о проверке (аттестации) магнитного порошка;
- подпись службы метрологии и неразрушающего контроля;
- результаты аттестации, переаттестации.

**Б.2.2.6** Проверка пригодности контрольного образца должна проводиться с помощью контрольной суспензии с аттестованным магнитным порошком.



- 1 - имитатор дефекта; 2-контролируемая поверхность;  
3- вставка; 4-немагнитное покрытие.

**Рисунок Б.1 – Контрольный образец**

### **Б.2.3 Магнитные порошки, суспензии и аэрозоли**

**Б.2.3.1** В качестве индикаторов несплошностей материала изделий при магнитопорошковой дефектоскопии следует использовать черные, цветные магнитные и магнитолюминесцентные порошки или готовые серийно выпускаемые суспензии на основе этих порошков.

**Б.2.3.2** В качестве жидкой дисперсионной среды для составления магнитной суспензии применять воду.

**Б.2.3.3** При приготовлении магнитных суспензий содержание черного, цветного или люминесцентного порошка в дисперсионной среде должно соответствовать рекомендациям производителя порошка, указанным в руководстве по его применению.

В случае отсутствия рекомендаций производителя порошка содержание магнитного порошка в 1 л дисперсионной среды должно соответствовать: черного –  $(25 \pm 5)$  г, магнитолюминесцентного –  $(4 \pm 1)$  г.

**Б.2.3.4** В состав водных магнитных суспензий должны входить поверхностно-активные, антикоррозионные и стабилизирующие компоненты. Водную суспензию необходимо оберегать от масла и загрязнений, вызывающих коагуляцию порошка и снижение чувствительности ее к выявлению несплошностей. При использовании магнитолюминесцентного порошка жидкая дисперсионная среда не должна гасить люминесценцию индикатора и создавать дополнительный люминесцирующий фон, затрудняющий расшифровку индикаторных следов дефектов.

#### **Б.2.3.5 Приготовление магнитных суспензий.**

Вначале приготавливают жидкую дисперсионную среду (водную), для чего все компоненты жидкой среды (кроме магнитного порошка) растворяют в теплой (от 50 °С до 70 °С) воде. Магнитный порошок предварительно смешивают с небольшим количеством воды до получения сметанообразной массы (вливая жидкость в порошок), а затем в полученную массу, не прекращая перемешивания, вливают остальной необходимый объем жидкости.

**Б.2.3.6** Срок хранения приготовленной суспензии не должен превышать 10 дней.

**Б.2.3.7** Концентрацию магнитной суспензии проверять при неоднократном ее использовании каждый раз перед проведением контроля с помощью анализатора концентрации магнитной суспензии типа. Допускается проводить контроль концентрации суспензии другими способами, например методом отстоя, если достоверность результатов контроля не хуже, чем контроль с помощью анализатора.

**Б.2.3.8** В качестве магнитных индикаторов так же рекомендуется использовать готовые, серийно выпускаемые суспензии в аэрозольных баллонах. При этом должны использоваться оснастки или устройства доставки магнитных индикаторов внутрь осевого канала.

**Б.2.3.9** Качество магнитной суспензии проверять перед проведением контроля с помощью контрольного образца с несплошностями (имитаторами

дефектов), удовлетворяющими принятому уровню чувствительности, или приборов для проверки качества магнитных порошков и суспензий.

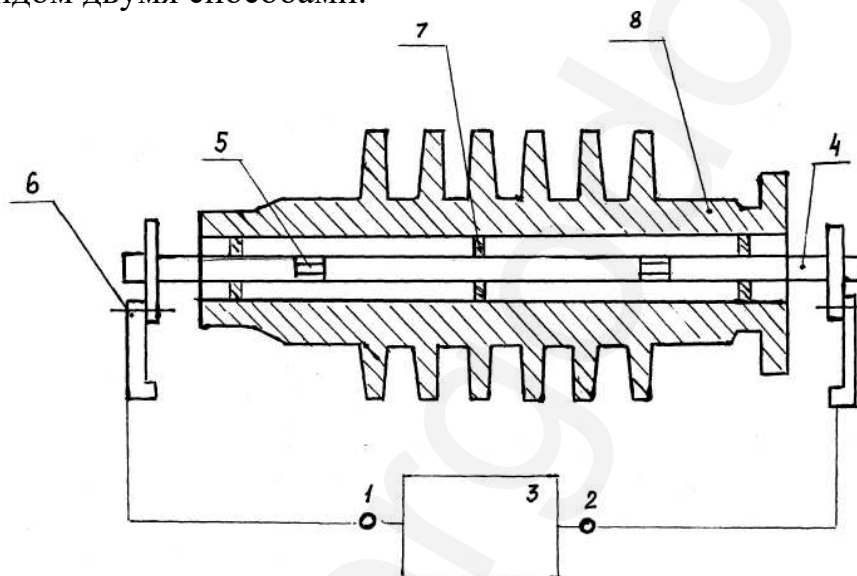
### Б.3 Подготовка к проведению контроля

**Б.3.1** Перед проведением контроля необходимо:

- выбрать способ контроля по магнитным характеристикам стали контролируемого ротора;
- выбрать способ и схему намагничивания в соответствии с размерами и формой изделия;
- провести выбор и расчет поля и тока намагничивания;
- подготовить аппаратуру, собрать схему и провести намагничивание металла ротора в зоне осевого канала.

**Б.3.2** Контроль металла в зоне осевого канала ротора осуществляется способом остаточной намагниченности.

**Б.3.3** Намагничивание поверхности осевого канала проводится циркулярным видом двумя способами.



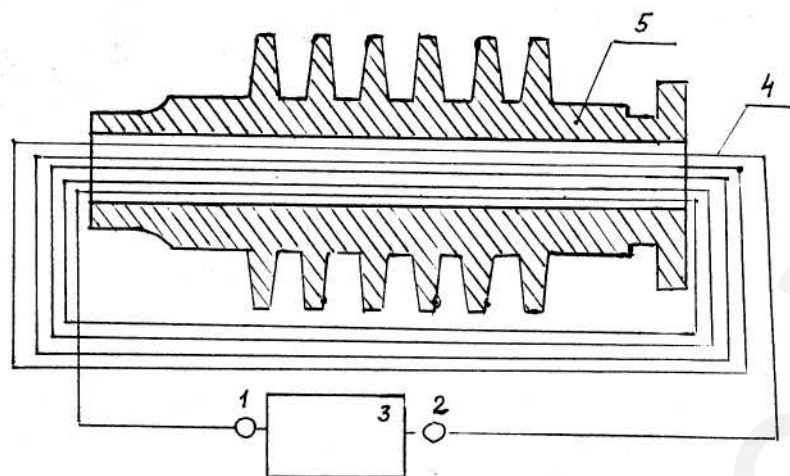
- 1, 2 - клеммы подключения проводника к источникам намагничивания и размагничивания;  
 3 - источник намагничивания и размагничивания;  
 4- проводник (труба) для намагничивания и размагничивания;  
 5 - муфты для стыковки частей проводника;  
 6 - зажимы проводника (трубы);  
 7 - центрирующие шайбы;  
 8 – ротор

**Рисунок Б.2 – Схема намагничивания и размагничивания с помощью проводника (трубы) тока, проходящего через осевой канал ротора**

**Б.3.3.1** Циркулярный вид намагничивания путем пропускания тока через проводник в виде, например, дюралевой трубы диаметром от 50 до 60 мм с центрирующими изоляционными опорами является более предпочтительным т. к.

## СТП XXXX.XX.430-XX

обеспечивает проведение по завершении контроля операции размагничивания ротора. Схема намагничивания при данном способе приведена на рисунке Б.2.



- 1 и 2 - клеммы для подключения токопровода;  
3 - источник намагничивания;  
4 - тороидальная обмотка 8–10 витков проводника сечением 25–30 мм<sup>2</sup>;  
5- ротор

**Рисунок Б.3 – Схема намагничивания ротора с помощью тороидальной обмотки, навитой на ротор через осевой канал**

**Б.3.3.2** Намагничивание металла ротора путем нанесения тороидальной обмотки из 8–10 витков допускается осуществлять в том случае, когда не требуется проведение операции его размагничивания. При такой схеме намагничивается не только поверхностный слой металла в зоне осевого канала, но и наружная поверхность ротора и лопадки, что создает большие трудности для размагничивания этих деталей до необходимого уровня. Схема намагничивания ротора с помощью тороидальной обмотки приведена на рисунке Б.3.

**Б.3.4** Для намагничивания канала ротора необходимо использовать выпрямленный одно- или двухполупериодный или импульсные виды тока.

**Б.3.5** Намагничивание осевого канала ротора для достижения уровня чувствительности по 1.5 проводится с учетом достижения в металле поверхностного слоя канала ротора индукции насыщения  $B_r$ . Напряженность поля насыщения  $H_s$  для получения этой индукции выбирается в пределах от 40 до 60 А/см.

**Б.3.6** Циркулярное намагничивание металла поверхностного слоя канала ротора осуществляется полем тока, проходящего по проводнику (трубе), пропущенного через осевой канал. Значение намагничивающего тока для получения максимальной остаточной намагниченности определяется по формуле (Б.3.1)

$$I = 3 \cdot H_s \cdot D, \quad (\text{Б.3.1})$$

где  $H_s$  - напряженность магнитного поля насыщения контролируемой роторной стали, А/см;

$D$  - диаметр осевого канала, см.

**Б.3.7** Расчет тока, протекающего по тороидальной обмотке, намотанной на ротор через осевой канал, проводится по формуле (Б.3.2)

$$I = \frac{\pi \cdot D \cdot H_s}{W}, \quad (\text{Б.3.2})$$

где  $H_s$  - напряженность магнитного поля насыщения контролируемой роторной стали, А/см;

$W$  - количество витков тороидальной обмотки (не более 10).

## Б.4 Проведение контроля

**Б.4.1** Перед началом контроля ротор следует установить на опоры с небольшим наклоном осевого канала (не более  $2^\circ$ ) в вертикальной плоскости для обеспечения стекания магнитной суспензии. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность поворота ротора вокруг своей оси на  $180^\circ$ .

**Б.4.2** магнитопорошковый контроль поверхности осевого канала проводится в следующей последовательности:

- проверяется работоспособность дефектоскопической аппаратуры;
- приготавливается магнитная суспензия и проверяется ее качество на контрольных образцах; делается запись в журнале;
- принимается качество зачистки поверхности осевого канала и проводится ее подготовка для контроля;
- помещается намагничивающее приспособление или обмотка в осевой канал ротора и проводится их подключение к дефектоскопу или источнику тока;
- включается дефектоскоп или источник тока. По индикатору устанавливается величина намагничивающего тока или поля согласно расчетным данным и указаниям карты контроля и проводится намагничивание поверхностного слоя канала ротора;
- после намагничивания дефектоскоп (источник тока) отключается и снимается намагничивающее приспособление (проводник или обмотка);
- верхняя часть поверхности осевого канала обрабатывается магнитной суспензией;
- обработанная поверхность просматривается на наличие дефектов;
- дефектные места отмечаются, определяются координаты дефектов и проводится оценка качества поверхности канала в соответствии с принятыми нормами;
- поверхность канала протирается ветошью;
- ротор поворачивается вокруг своей оси на  $180^\circ$ . Повторяются операции по нанесению магнитной суспензии и оценке качества металла ротора;
- проводится размагничивание поверхности канала ротора;

– результаты контроля заносятся в протокол.

**Б.4.3** Для проверки работоспособности аппаратуры и качества магнитной суспензии необходимо провести намагничивание контрольного образца и обработать контролируемую поверхность образца магнитной суспензией.

После испытаний вид индикаторных следов осевшего порошка над дефектами на образце сверяется с фотодефектограммой, имеющейся в паспорте к контрольному образцу или инструкции по эксплуатации дефектоскопа. При совпадении дефектограмм делается запись в рабочем журнале: магнитный дефектоскоп соответствует паспортным данным и исправен; магнитная суспензия пригодна для контроля; чувствительность метода соответствует заданному уровню.

При несоответствии дефектограммы контрольного образца изображению из паспорта разрабатываются компенсирующие мероприятия вплоть до замены всего имеющегося оборудования и средств контроля.

**Б.4.4** Для подготовки поверхности под контроль (после контроля эндоскопом и устранения выявленных дефектов) необходимо непосредственно перед магнитопорошковым контролем очистить ее от пыли, шлака и других загрязнений, мешающих проведению контроля.

В случае наличия на поверхности канала следов масла поверхность обезжиривается и, при необходимости, промывается моющими растворами, если контроль проводится с применением водной магнитной суспензии.

**Б.4.5** После подготовки поверхности канала под контроль необходимо провести его разметку и маркировку. Начало и направление отсчета должно быть замаркировано и отмечено на карте контроля. Маркировку по участкам (если смотреть в направлении перемещения рабочей среды) рекомендуется проводить по аналогии с часовым циферблатом или привязываться к номеру отверстия на полумуфте.

**Б.4.6** При контроле способом остаточной намагниченности продолжительность намагничивания составляет от 2 до 5 секунд при трех или пятикратном включении тока.

Значение напряженности поля насыщения и тока намагничивания выбираются по рекомендациям Б.3.6 и Б.3.7.

**Б.4.7** Магнитная суспензия наносится на поверхность осевого канала ротора с помощью краскопульта или, при использовании аэрозольных баллонов – при помощи специальной оснастки способной равномерно доставить магнитную суспензию на внутренние поверхности осевого канала. Перед нанесением суспензии удлинитель краскопульта выставляется так, чтобы форсунка вышла с противоположной стороны канала. В этом положении устанавливается режим разбрызгивания суспензии, после чего удлинитель с форсункой плавно выводится из канала и вращением форсунки достигается равномерное покрытие поверхности магнитной суспензией. Суспензия наносится за один проход. Сначала обрабатывается суспензией и подвергается контролю и оценке качества верхняя часть осевого канала. Затем поверхность канала тщательно протирается и ротор поворачивается вокруг своей оси на  $180^\circ$ , обрабатывается суспензией и контролируется в том же порядке

вторая половина поверхности осевого канала, оказавшаяся после поворота ротора в верхнем положении.

**Б.4.8** Осматриваемая и контролируемая поверхность осевого канала освещается:

- осветительными устройствами, входящими в состав прибора эндоскопа, при использовании в качестве индикатора черного магнитного порошка,
- источником ультрафиолетового излучения при использовании суспензии с магнитолюминесцентным порошком. Ультрафиолетовая лампа закрепляется на эндоскопе при проведении контроля канала. Штатный осветитель при этом отключается.

**Б.4.9** Расшифровка результатов контроля проводится по индикаторным следам валика осевшего магнитного порошка над несплошностью.

Под индикаторным следом следует понимать видимую визуально с помощью эндоскопа длину плотного валика, осевшего над несплошностью порошка. При этом длина индикаторного следа линейной несплошности равна протяженности выявленной несплошности.

**Б.4.10** При обнаружении дефекта эндоскоп устанавливается в положение наилучшей видимости дефекта, системами эндоскопа фиксируются его размер. Координаты дефекта определяются по его расстоянию (в мм) от торца ротора и по его ориентации на развертке в окружном направлении.

**Б.4.11** Оценка качества канала проводится в соответствии с 9.1.2.5 настоящего стандарта.

**Б.4.12** После проведения контроля поверхность осевого канала ротора необходимо размагнитить.

Для размагничивания проводник (труба) должна устанавливаться в осевом канале ротора и подсоединяться к источнику размагничивания (дефектоскопу). Размагничивание осуществляется знакопеременным магнитным полем с убывающей от максимального значения до нуля амплитудой. Ток, создающий воздействующее поле, может быть переменным промышленной частоты, импульсным или выпрямленным однополупериодным и чередующейся полярностью и разной частотой коммутации.

Напряженность начального размагничивающего поля должна быть не менее величины намагничивающего поля, а при отсутствии данных о последнем поле - не менее четырехкратного значения коэрцитивной силы материала ротора. Величина тока (создающая соответствующее поле) при размагничивании канала током промышленной частоты с помощью проводника должна быть не менее 1000 А. При размагничивании ток плавно в течение от 20 до 30 секунд уменьшается от наибольшего значения до нуля.

**Б.4.13** Степень размагничивания должна определяться с помощью измерителей или градиентометров магнитных полей. При измерении степени размагничиванности датчик устанавливать на места с наличием рассеянного поля утечки (торцевая поверхность канала, углы, выступы и т.д.). Качественная и ориентировочная оценка степени размагничивания должна проводиться органолептическим способом по отсутствию притяжения к размагниченному

участку канала ротора малых, примерно 5 г ферромагнитных масс (пять скрепок) или по отклонению стрелки компаса. При необходимости использовать повторное размагничивание канала до выполнения условий.

**Б.4.14.1** Капиллярный контроль проводить согласно разделу М.1.

**Б.4.14.2** При капиллярном контроле использовать спреи или специальные подающие устройства способные равномерно нанести все компоненты капиллярного контроля на внутренние поверхности осевого канала.

**Б.4.14.3** Расшифровка результатов контроля проводится по индикаторным следам пенетранта над несплошностью в среде проявителя.

Под индикаторным следом следует понимать видимую визуально с помощью эндоскопа контрастный видимый или люминесцирующий след, проявившегося над несплошностью пенетранта в среде проявителя.

**Б.4.14.4** При обнаружении дефекта эндоскоп устанавливается в положение наилучшей видимости дефекта, системами эндоскопа фиксируются его размер. Координаты дефекта определяются по его расстоянию (в мм) от торца ротора и по его ориентации на развертке в окружном направлении.

**Б.4.14.5** Оценка качества канала проводится в соответствии с 9.1.2.5 настоящего стандарта.

## **Б.5 Требования безопасности**

**Б.5.1** При проведении работ по дефектоскопии должны соблюдаться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.001, ГОСТ 12.2.007.14, ГОСТ 12.1.009.

**Б.5.2** Перед включением дефектоскопа дефектоскопист должен убедиться в наличии заземления. Сечение медного провода для заземления должно быть не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

**Б.5.3** При обнаружении неисправности дефектоскопического оборудования или в случае замыкания тока на корпус, работу по контролю следует прекратить и вызвать дежурного электрика для ликвидации неисправности.

**Б.5.4** Дефектоскописты, проводящие контроль, должны быть обеспечены специальной одеждой и хлопчатобумажными перчатками.

**Б.5.5** Перед началом работы необходимо проверить исправность электропроводов, кабелей на целостность изоляции, а также наличие и исправность предохранителей и выключателей источников постоянного тока.

**Б.5.6** Переключение и отключение концов токопроводящих проводов, используемых для намагничивания роторов, проводить только при выключенном напряжении.

## Приложение В

### Методические рекомендации по вихретоковому контролю поверхности осевого канала цельнокованого ротора

#### В.1 Общие положения

**В.1.1** Методические рекомендации (МР) устанавливают порядок проведения вихретокового контроля цельнокованных валов роторов паровых турбин со стороны осевого канала при их периодическом обследовании на электростанциях, ремонтных предприятиях.

**В.1.2** Цели контроля - выявление поверхностных несплошностей различной ориентации металла на поверхности осевого канала, определение местоположения дефектов и оценка их глубины.

**В.1.3** МР распространяются на цельнокованные роторы с диаметром осевого канала от 70 до 160 мм и не распространяются на роторы, имеющие в осевом канале локальные расточки, выборки, уступы.

**В.1.4** МР определяют основные технологические операции контроля, регламентируют его параметры, а также требования по технике безопасности.

**В.1.5** Вихретоковый контроль ротора осуществляется дефектоскопистами, имеющими уровень квалификации по вихретоковому виду неразрушающего контроля не ниже 2 уровня.

#### В.2 Аппаратура и настроечные образцы

**В.2.1** В качестве средства контроля применять комплекс вихретоковой аппаратуры, который обеспечивает:

- выявление продольных и поперечных дефектов типа трещин на поверхности осевого канала протяженностью более 2 мм, глубиной более 0,5 мм и шириной раскрытия более 0,002 мм;
- автоматическое сканирование поверхности канала вихретоковым накладным преобразователем с шагом сканирования не более одного эффективного радиуса (половина диаметра) вихретокового накладного преобразователя (далее - ВТП) при помощи транспортно-сканирующего механизма (далее - ТСМ):
  - отстройку от зазора между ВТП и поверхностью металла и регулировку уровня чувствительности;
  - звуковую и световую индикацию наличия дефекта;
  - регистрацию дефектов на съемный носитель;
  - управление перемещением ВТП;
  - определение координат обнаруженного дефекта относительно выбранной точки отсчета;
- возможность оценки параметров обнаруживаемых дефектов (протяженности, глубины).

Допускается применение различных калиброванных или поверенных средств вихретокового контроля, обладающих техническими

характеристиками не хуже перечисленных, с уровнем чувствительности позволяющим обнаруживать трещины и трещиноподобные дефекты протяженностью 2 мм и более, глубиной 0,5 мм и более, шириной раскрытия 0,002 мм и более.

**В.2.2** Для проверки настройки аппаратуры необходимо использовать два настроечных образца с искусственными дефектами. Образцы представляют собой прямоугольные бруски из стали той же марки, что и контролируемый ротор, или близкой к ней по электромагнитным свойствам. Размеры образцов не менее - 25х25х60 мм. В центральной части образцов, перпендикулярно плоскости грани, на всю ширину грани фрезой должен фрезероваться прямоугольный пропилен. Заготовки нагревать до температуры от 300 °С до 600 °С и под прессом сжимать, в направлении поперечном пропилену, до получения раскрытия порядка 0,002 мм. Поверхность образцов обработать до уровня шероховатости  $R_z = 10$  мкм. Глубина искусственного дефекта на одном образце должна составлять 0,5 мм, на втором – № 2 - 3 мм.

### **В.3 Подготовка к проведению контроля**

**В.3.1** Ротор необходимо устанавливать на козлах так, чтобы имелся свободный доступ к обоим его торцам с возможностью ввода в осевой канал аппаратуры. Для установки пульта управления вихретоковым комплексом у одного из краев ротора обеспечиваются подмостья или леса.

**В.3.2** Вихретоковый контроль проводить после выемки пробок, закрывающих осевой канал, зачистки поверхности канала от окалины до шероховатости  $R_z = 10$  мкм, обезжиривания и визуального контроля поверхности.

**В.3.3** На один из торцов ротора нанести азимутальную шкалу (или использовать накладную) с ценой деления не менее 15 градусов на деление. Начало отсчета («0» градусов) должно соответствовать отверстию № 1 под болт на полумуфте ротора.

**В.3.4** Проводить подготовку к работе вихретокового комплекса в соответствии с инструкцией по его эксплуатации, подключить периферийные устройства регистрации, проверить работоспособность ТСМ, устройств индикации и регистрации дефектов.

**В.3.5** ВТП установить на бездефектный участок поверхности канала, на индикаторе глубины дефекта выставить нулевое значение. Провести настройку чувствительности аппаратуры по образцу с искусственным дефектом глубиной 0,5 мм: при перемещении ВТП над искусственным дефектом должна стабильно срабатывать звуковая и световая индикация наличия дефекта, а устройство регистрации - регистрировать появление сигнала от дефекта. Фиксировать показания на индикаторе глубины дефекта при положении ВТП над искусственными дефектами с глубиной 0,5 мм, затем – 2–3 мм. Эти данные в дальнейшем следует использовать для оценки глубины дефекта в роторе. Для более точной оценки глубины дефекта в роторе необходимо использовать большее количество настроечных образцов с различной глубиной искусственного дефекта.

**В.3.6** ТСМ поместить в осевой канал и зафиксировать степень раскрытия центрирующих устройств. ВТП установить на расстоянии 15 мм от кромки осевого канала в положении «0» градусов по азимутальной шкале.

После выполнения перечисленных операций вихретоковый комплекс готов к проведению контроля осевого канала ротора.

#### **В.4 Проведение контроля**

**В.4.1** После операций по подготовке аппаратуры к работе привести в действие ТСМ синхронно с устройством регистрации дефектов. Непрерывно вести наблюдение за перемещением ТСМ и показаниями индикаторов. Поверхность канала вблизи торцов контролировать вручную.

**В.4.2** При приближении аппарата к торцу ротора ТСМ остановить и извлечь из осевого канала.

**В.4.3** При необходимости повторного контроля допускается его проведение при реверсном движении ТСМ.

**В.4.4** При появлении сигнала от дефекта в процессе сканирования поверхности провести повторное сканирование участка, на котором произошло срабатывание средств регистрации дефекта. При подтверждении наличия дефекта провести оценку его протяженности и глубины.

#### **В.5 Оформление результатов контроля**

**В.5.1** Результаты контроля фиксировать в заключении с приложенной разверткой осевого канала (дефектограммой).

**В.5.2** В заключении указать название электростанции, тип турбины, стационарный номер турбины, тип ротора, заводской номер ротора, марка стали ротора, время его наработки, дата проведения контроля, состав бригады, выполнявшей контроль, тип используемого средства контроля, описание качества подготовки поверхности канала к контролю. Указать также направление отсчета линейных координат (со стороны котла или генератора) и «привязку» угловых координат азимутальной шкалы к отверстию на полумуфте.

**В.5.3** На дефектограммой зафиксировать месторасположение выявленных дефектов, указать их количество, протяженность и глубину.

**В.5.4** Сравнить выявленные дефекты с допустимыми по подразделу 9.1.

## Приложение Г

### Инструкция по ультразвуковому контролю цельнокованных роторов паровых турбин со стороны осевого канала

**Г.1** Ультразвуковой контроль (далее - УЗК) роторов проводить для обнаружения внутренних несплошностей металла.

Ультразвук следует вводить в металл (и принимать эхо-сигналы от несплошностей в металле) с помощью специальных ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей (далее - ПЭП), в контактном или иммерсионном вариантах (альтернативно).

Для обнаружения дефектов, ориентированных поперек оси ротора, ультразвук следует вводить в осевой плоскости ротора. Для обнаружения дефектов, ориентированных вдоль оси ротора, ультразвук вводить в азимутальной плоскости ротора, расположенной перпендикулярно оси. Ультразвук вводить в металл ротора с помощью ПЭП, размещаемых в полости осевого канала.

Контроль роторов должна выполнять бригада из двух дефектоскопистов. Специалисты по ультразвуковой дефектоскопии должны быть аттестованы согласно действующим требованиям и иметь второй уровень квалификации и выше.

Для проведения УЗК ротора в условиях электростанции необходимо демонтировать ротор и обеспечить свободный доступ к полости осевого канала.

#### Г.2 Оборудование и материалы

**Г.2.1** Для УЗК использовать:

- испытательные образцы;
- отраслевые стандартные образцы (далее - СОП);
- специальные ПЭП, или серийно выпускаемые ПЭП со специальной оснасткой;
- радиочастотный кабель (длина от 8 до 16 м), снабженный специальным герметичным электрическим разъемом для присоединения к ПЭП, и соответствующим разъемом для присоединения к электронному блоку дефектоскопа;
- ультразвуковые дефектоскопы, занесенные в государственный реестр средств измерений;
- механизмы (или приспособления) для ориентации и перемещения ПЭП в канале ротора.

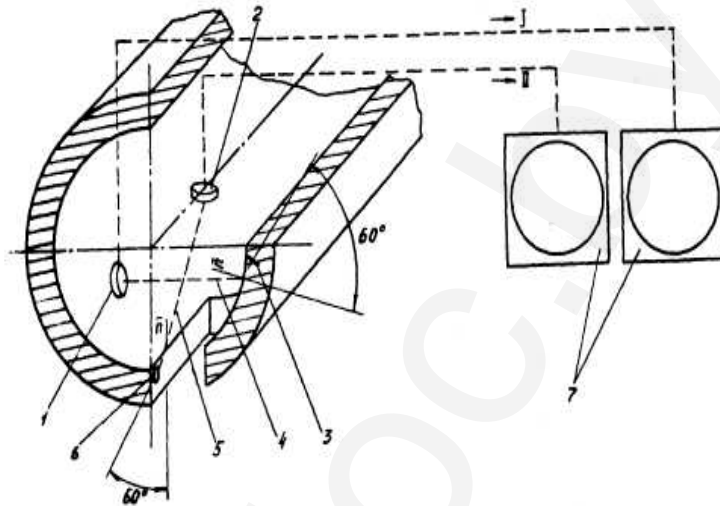
**Г.2.2** Спецоснастка: пробки и козлы для ротора, подставки для дефектоскопов, лейки и помпы для подачи контактной или иммерсионной жидкости, настил с ограждениями для дефектоскопистов.

**Г.2.3** Иммерсионный вариант УЗК (рисунок Г.1) реализовать с помощью специального координатного механизма. Контактный вариант (рисунок Г.2) реализовать с помощью призматических ПЭП, перемещаемых в канале ротора с помощью ориентирующей рамки и легкой трубы диаметром от 18 до 25 мм.

**Г.2.4** Для создания акустического контакта ПЭП с металлом ротора применяют дегазированную жидкость (водопроводную воду). Для дегазации

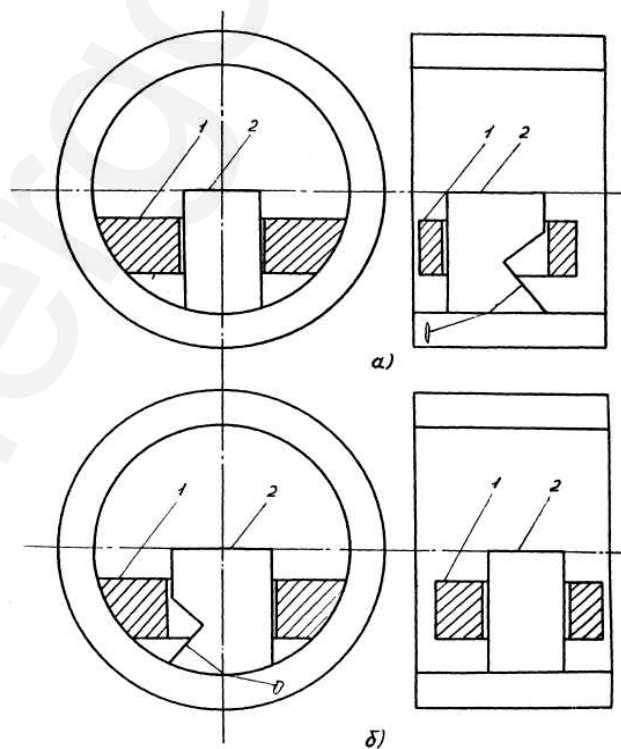
жидкости ее надо выдержать в открытом сосуде не менее 8 ч при комнатной температуре.

**Г.2.5** Перед выполнением УЗК аппаратура (электронный блок и специальные ПЭП) должна быть проверена в соответствии с действующими техническими документами.



1 - ПЭП канала продольного обнаружения I; 2 - ПЭП канала поперечного обнаружения II; 3, 6 - дефекты; 4 - путь ультразвуковых колебаний канала I; 5 - путь ультразвуковых колебаний канала II; 7 - дефектоскопы;

**Рисунок Г.1 – Схема иммерсионного метода УЗК**



1 - ориентирующее устройство; 2-ПЭП

**Рисунок Г.2 – Схема контактного метода контроля ротора при вводе ультразвука в осевой (а) и азимутальной (б) плоскостях**

### Г.3 Подготовительные работы

**Г.3.1** Демонтировать ротор из турбины, установить его на козлы в горизонтальное положение, извлечь пробки из осевого канала и выполнить работы по хонингованию металла на поверхности осевого канала.

Осовой канал ротора должен находиться не выше 1,5 м от уровня пола или прочного деревянного настила. Ротор следует разместить так, чтобы имелся свободный доступ к его торцам для присоединения заглушек, ввода штанги, размещения приборов и операторов.

Для проведения УЗК выделяется необходимое количество времени и в этот период выполнение работ по ремонту ротора не допускается.

**Г.3.2** Подготовительные работы по контролю роторов рекомендуется проводить в такой последовательности:

- шлифовать хонинговальной головкой поверхность осевого канала ротора (требуется чистота поверхности  $R_z = 20$  мкм по ГОСТ 2789, визуальная оценка качества шлифовки проводится с помощью видеоэндоскопов или аналогичных устройств);

- установить ротор на козлах так, чтобы торец ротора со стороны которого вводят ПЭП, был расположен выше противоположного торца от 100 до 150 мм (при установке ротора с наклоном необходимо учесть требования безопасности);

- закрыть глухой пробкой осевой канал ротора со стороны сниженного торца);

- подключить к ПЭП радиочастотный соединительный кабель (во избежание обрыва провода при подсоединении кабеля следует вращать только накидную гайку разъема, придерживая ПЭП и кабель);

- присоединить колена штанги (составной) к каретке (ориентирующей рамке), при этом соединительный кабель должен быть пропущен через центраторы, шарнир и колена штанги;

- совместить продольную риску на штанге с риской на кардане и каретке и зафиксировать это положение контргайкой;

- вставить каретку (рамку) с центраторами и первым коленом штанги в осевой канал ротора;

- пропустить штангу с кабелем через отверстие резиновой манжеты заглушки конца ротора и прижать заглушку к фланцу ротора;

- разместить на штанге азимутальный диск (фиксируется на штанге пружинами) и рукоятку;

- смонтировать штангу до полной длины, пропуская через нее кабель и совмещая риски. Подставить треногу (козлы), поддерживающую штангу;

- налить в осевой канал воду (или турбинное масло) через лейку (патрубок), а в случае контактного варианта УЗК использовать помпы и системы подачи контактных жидкостей непосредственно под ПЭП;

- подключить дефектоскопы.

- допускается использования одного дефектоскопа с поочередным контролем для каждого ПЭП в азимутальном и продольном направлениях.

## Г.4 Параметры контроля

**Г.4.1** Контроль проводить при следующих параметрах:

- частота ультразвуковых колебаний от 1,8 МГц до 4 МГц;
- диаметр пьезопластины 12 мм;
- контрольный уровень чувствительности должен быть на 6 дБ ниже уровня чувствительности, соответствующего амплитуде сигнала от плоскодонного отражателя в испытательном образце на заданной глубине (браковочный уровень);

- поисковый уровень чувствительности должен быть ниже контрольного уровня не менее чем на 6 дБ. При недостаточной чувствительности дефектоскопа допускается устанавливать поисковый уровень чувствительности на контрольном уровне, относящемся к глубине 80 мм (рисунок Г.6).

**Г.4.2** Для настройки дефектоскопов служит испытательный образец, приведенный на рисунке Г.3, выполненный в виде кольца с внутренним диаметром, равным диаметру осевого канала контролируемого ротора.

**Г.4.3** Настройку чувствительности необходимо проводить по плоскодонным отражателям диаметром 3 мм. Плоскодонные отражатели располагают перпендикулярно вводимому ультразвуковому лучу (ось плоскодонного сверления образует с нормалью к внутренней поверхности образца угол 60°, равный углу ввода). Пять искусственных отражателей для настройки канала продольного обнаружения располагают в плоскости образца перпендикулярно его оси на глубине 5, 10, 20, 40 и 80 мм от внутренней поверхности, и четыре отражателя - для настройки канала поперечного обнаружения - в осевой плоскости на глубине 5, 10, 20 и 40 мм от внутренней поверхности. Для получения четкого сигнала от поверхности канала на внутренней поверхности образца выполняют две риски.

Для изготовления образца следует использовать сталь той же марки, из которой изготовлен ротор. Допускается изготавливать образец из стали 20 по ГОСТ 1050 в нормализованном состоянии.

**Г.4.4** Допускается для настройки дефектоскопов применять упрощенные испытательные образцы уменьшенного размера с цилиндрическими отражателями, расположенные на глубине 5, 10, 20, 40 и, дополнительно, 80 мм (рисунки Г.4 и Г.5), с последующим пересчетом в плоскодонные отражатели. При этом эквивалентную площадь цилиндрического отражателя  $S_{ЭКВ.Ц}$ , мм<sup>2</sup>, рассчитывать по формуле Г.1:

$$S_{ЭКВ.Ц} = \frac{\lambda}{2} \sqrt{R \cdot b}, \quad (Г.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны, мм;

$R$  – расстояние от края поверхности цилиндрического отражателя до точки мнимого фокуса пьезопластины ПЭП, мм;

$b$  – радиус цилиндрического отражателя, мм.

**Г.4.5** Для периодической проверки стабильности уровня чувствительности дефектоскопов допускается применять прямой ПЭП той же частоты, что и используемые ПЭП, и стандартный образец № 2 по ГОСТ 14782.

## **Г.5 Иммерсионный метод контроля**

**Г.5.1** При иммерсионном методе ПЭП погрузить в контактную жидкость, которая заполняет осевой канал ротора. В качестве пьезоэлемента ПЭП используют пьезопластину, например, из цирконата-титаната свинца (ЦТС-19) диаметром 12 мм, непосредственно соприкасающуюся своей рабочей поверхностью с водой. Толщины пьезопластины выбирают на резонансную частоту от 1,8 МГц до 4,0 МГц. При этом используют приборы с плавной регулировкой частоты зондирующих импульсов.

**Г.5.2** Иммерсионный метод предусматривает использование двух каналов обнаружения.

Канал I (рисунок Г.1) предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных вдоль оси ротора. В этом случае пьезопластину смещают относительно осевой линии ротора параллельно осевой плоскости, а ультразвуковые волны распространяются в азимутальной плоскости (перпендикулярно оси ротора).

Смещение  $m$ , мм, центра пластины ПЭП (рисунок Г.7) рассчитать по формуле (Г.2):

$$m = \frac{D}{2} \cdot \frac{C_{11}}{C_{2t}} \cdot \sin \alpha, \quad (\text{Г.2})$$

где  $D$  - диаметр осевого канала ротора, мм;

$C_{11}$  - скорость продольной волны в воде, мм/с;

$C_{2t}$  - скорость поперечной волны в стали, мм/с;

$\alpha$  - угол ввода ультразвуковых колебаний в сталь, °.

Канал II (рисунок Г.1) предназначен для обнаружения дефектов, ориентированных поперек оси ротора. Угол ввода ультразвуковых волн, распространяющихся в осевой плоскости ротора, должен составлять  $60^\circ \pm 30'$ .

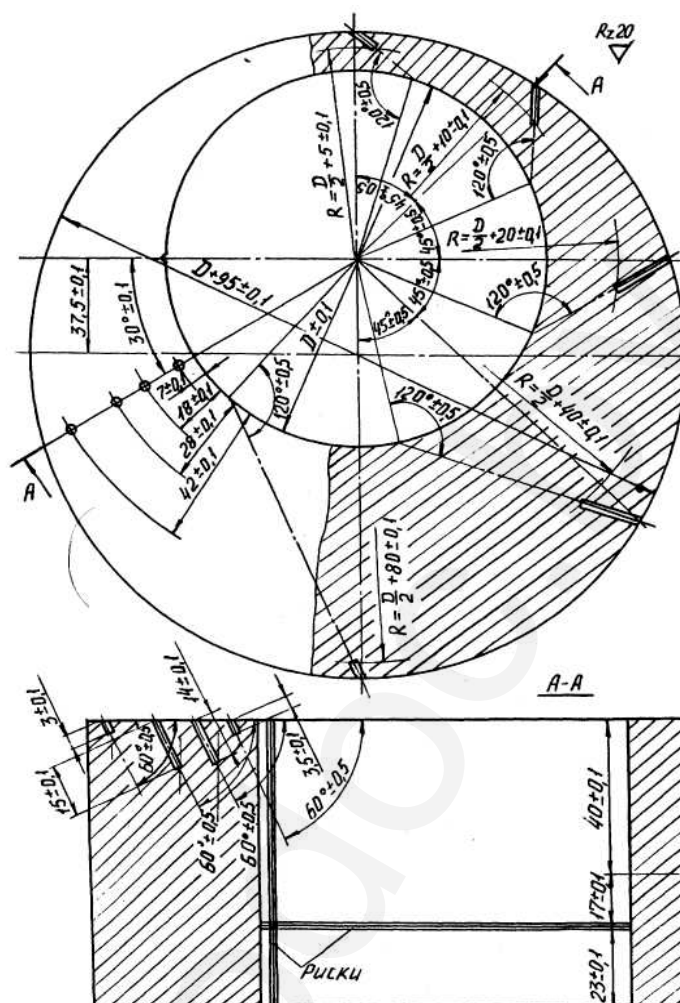
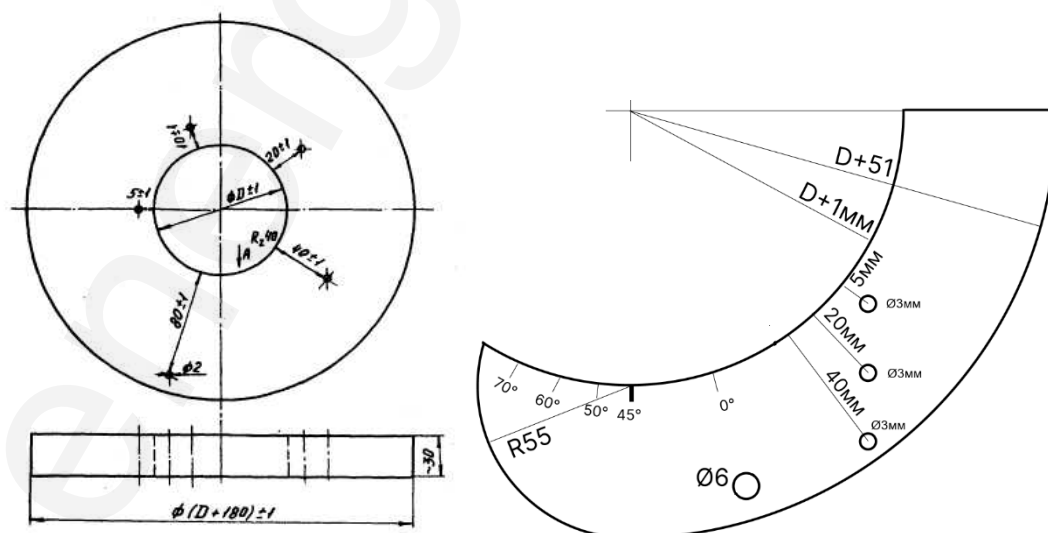
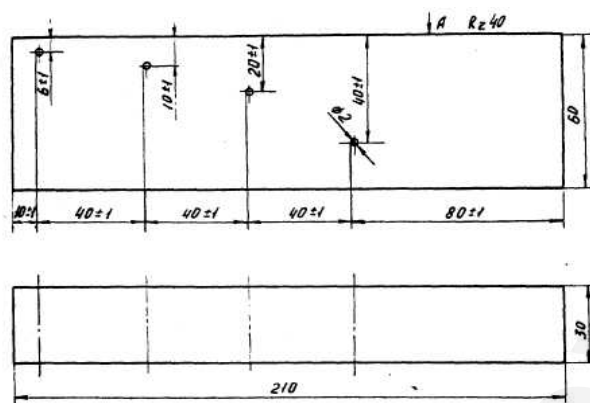


Рисунок Г.3 – Испытательный образец



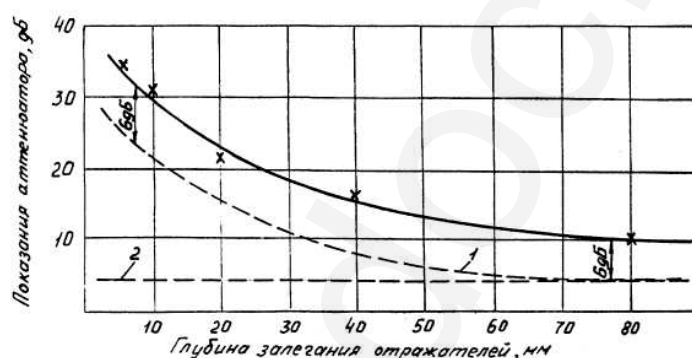
А - поверхность для установки ПЭП; Д - диаметр осевого канала

Рисунок Г.4 – Упрощенные испытательные образцы



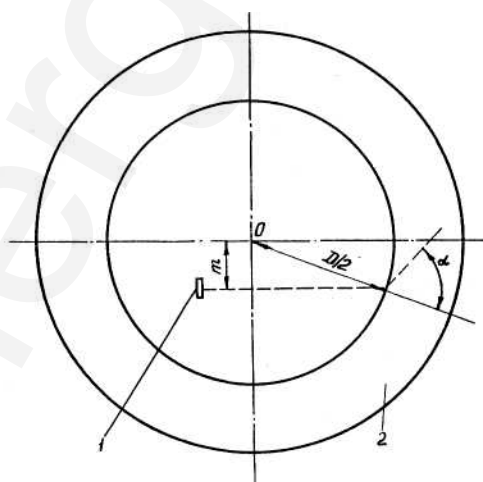
A - поверхность для установки ПЭП

Рисунок Г.5 – Упрощенный испытательный образец



1 - контрольный уровень; 2- поисковый уровень

Рисунок Г.6 – Примерный тарировочный график



1 - ПЭП; 2 - ротор

Рисунок Г.7 – Схема обнаружения продольных дефектов

**Г.5.3** Для проведения иммерсионного метода контроля использовать приспособления, предназначенные для перемещения и ориентации ПЭП в осевом канале ротора и уплотнения осевого канала при заполнении его водой.

**Г.5.4** Настройка дефектоскопа

**Г.5.4.1** Настройку чувствительности дефектоскопа проводить по плоскодонным отражателям.

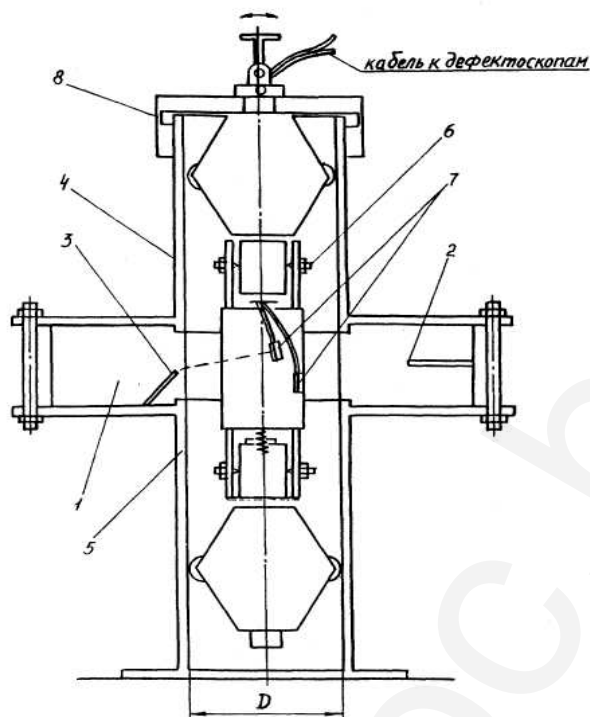
**Г.5.4.2** Настройку ультразвуковых дефектоскопов следует выполнять в следующей последовательности:

- а) установить испытательный образец 1 (рисунок Г.8) в сборе с удлинительными трубами 3 в вертикальное положение;
- б) заполнить испытательный образец водой;
- в) поместить в испытательный образец каретку 6 с ПЭП 7;
- г) подключить дефектоскоп;
- д) установить длительность развертки в положение, соответствующее толщине испытательного образца (эхо-сигнал от наружной поверхности образца должен располагаться в крайнем правом положении экрана);
- е) выполнить настройки параметров глубиномера используемой аппаратуры по пунктам ж – в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме;
- ж) изменением положения каретки добейтесь максимальной амплитуды эхо-сигнала от риски на внутренней поверхности испытательного образца. Для плавного перемещения каретки при настройке служит приспособление 8;
- з) положение импульса на шкале будет соответствовать глубине залегания – 0 мм;
- и) совместите регулятором временной регулировки чувствительности (далее ВРЧ) начало ВРЧ с эхо-сигналом от внутренней поверхности;
- к) добейтесь изменением положения каретки максимальной амплитуды эхо-сигнала от продольного контрольного отражателя 2, расположенного на глубине 20 мм;
- л) положение импульса на шкале будет соответствовать глубине залегания – 20 мм;
- м) добавьте точку в положении импульса с максимальной амплитудой в значение ВРЧ;
- н) выполните аналогичные операции (Г.5.4.2 к – Г.5.4.2 м) для искусственных отражателей, расположенных на глубине 5, 10, 40 и 80 мм;
- о) постройте по полученным значениям амплитуды опорный уровень (диаграмму) либо используйте способ ВРЧ (в качестве примера опорный уровень - сплошная линия на рисунке Г.6).

Построенные диаграммы можно использовать при последующем контроле при условии регулировки чувствительности. ВРЧ и диаграммы используются только для конкретного комплекта аппаратуры. В случае замены хотя бы одного из элементов, включая кабели подключения ПЭП, настройки проводить повторно.

п) выполнить аналогичные операции (Г.5.4.2 – Г.5.4.2 д) при настройке дефектоскопа, предназначенного для выявления поперечных дефектов.

При построении диаграмм или ВРЧ канала обнаружения поперечных дефектов показание аттенюатора для глубины залегания 80 мм принимать на 10 дБ ниже, чем для глубины 40 мм.



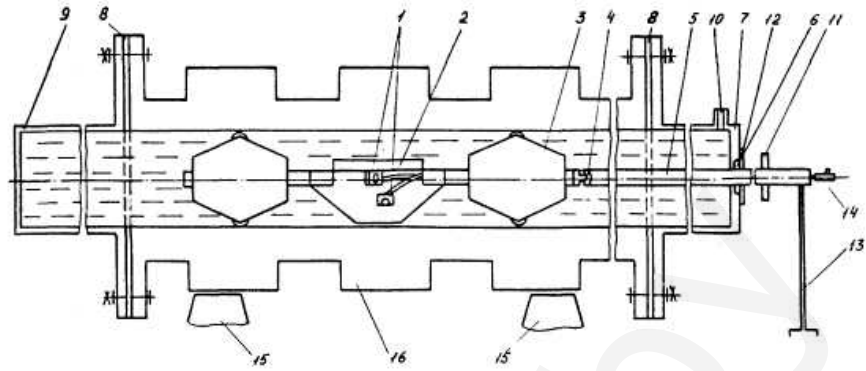
- 1 - образец; 2, 3 - контрольные отражатели; 4, 5 - удлинительные приспособления;  
6 - каретка; 7 - ПЭП; 8 - приспособление для перемещения каретки

**Рисунок Г.8 – Установка каретки в испытательном образце при настройке дефектоскопов**

**Г.5.4.3** После настройки дефектоскопа временно отключите ПЭП для контроля и включите прямой ПЭП, который следует установить на стандартный образец № 2, чтобы получить сигнал от отверстия диаметром 6 мм, расположенного на расстоянии 44 мм от контактной поверхности. Амплитуда сигнала от искусственного отражателя зафиксировать. ПЭП для контроля вновь подключите к дефектоскопу. В процессе контроля периодически проводите проверку настройки чувствительности дефектоскопа посредством подключения прямого ПЭП и сравнением амплитуды от искусственного отражателя с первоначальной. В случае отличия амплитуд на 2 дБ и более следует проводить повторную настройку чувствительности дефектоскопа по испытательному образцу.

#### **Г.5.5 Проведение контроля**

Общий вид устройства для ультразвукового контроля ротора показан на рисунке Г.9. Контроль выполнять в два приема со сменой направления ввода ультразвука на противоположное в целях повышения надежности контроля. При контроле одним дефектоскоп – выполнять контроль в четыре приема: для каждого ПЭП и для смены направления.



- |                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1 - ПЭП;                     | 9 - глухое доньшко;                |
| 2 - каретка;                 | 10 - патрубок;                     |
| 3 - центрирующее устройство; | 11 - рукоятка подачи и управления; |
| 4 - карданный шарнир;        | 12 - азимутальный диск;            |
| 5 - штанга;                  | 13 - тренога (подставка);          |
| 6 - резиновая манжета;       | 14 - кабель к дефектоскопам;       |
| 7 - проходное доньшко;       | 15 - опоры ротора;                 |
| 8 - резиновая прокладка;     | 16 - ротор.                        |

**Рисунок Г.9 – Общий вид устройства для ультразвукового контроля ротора иммерсионным способом**

Операции по контролю следует проводить в следующей последовательности:

- установить настройку дефектоскопов по 5.4.2;
- установить чувствительность или усилитель ВРЧ дефектоскопа в режим поиска на 6 дБ выше по сравнению с опорным уровнем;
- сканировать всю поверхность осевого канала поступательно-вращательным движением штанги с помощью рукоятки подачи. Через каждые 6 мм поступательного, вдоль оси ротора движения проводить один полный оборот штанги в одну сторону и возврат в прежнее положение;
- при дефектоскопии ротора, имеющего расточку поверхности осевого канала диаметром большим, чем основной, необходимо провести повторное сканирование после прокручивания ротора на 180° в целях исключения влияния зеркала воды в расточке;
- переходные участки расточки, имеющие коническую поверхность, подлежат контролю только на усмотрение дефектоскописта;
- чувствительность контролировать каждый час работы, подключая дополнительный ПЭП и используя образец № 2;
- проводите смену направления озвучивания в следующем порядке: снимите приспособление для заглушки рабочего торца ротора, извлеките каретку с центраторами, отсоедините высокочастотный кабель от ПЭП, отсоедините шарнир от транспортирующего устройства, поверните транспортирующее устройство на 180°, присоедините шарнир к транспортирующему устройству, подсоедините кабель к ПЭП, введите

## СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ

транспортирующее устройство в канал ротора, прижмите приспособление для заглушки к фланцу ротора, долейте воду.

**Г.5.6** По окончании контроля следует извлечь из осевого канала каретку и отсоединить ПЭП; приспособление разобрать, очистить от грязи и насухо протереть, смазать трущиеся детали каретки густой смазкой; промыть рабочую поверхность ПЭП уайт-спиритом, не касаясь, при этом, поверхности пьезопластины руками, поместить комплект в сухое место.

### Г.6 Контактный метод контроля

**Г.6.1** При контактном методе следует применять наклонные ультразвуковые ПЭП, снабженные приспособлениями для их ориентации и перемещения в осевом канале ротора. Частота ультразвуковых колебаний - от 1,8 МГц до 4 МГц, диаметр пьезопластины - 12 мм, угол призмы -  $46^{\circ} \pm 1^{\circ}$  (угол ввода -  $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ) и  $56^{\circ} \pm 1^{\circ}$  (ввод поверхностных и поперечных волн под углом от 60 до 90°). Для подключения ПЭП применять радиочастотный кабель длиной от 8 м до 14 м.

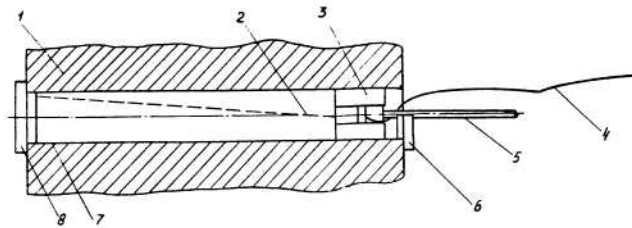
**Г.6.2** Для настройки аппаратуры следует:

- подключить ПЭП с помощью соединительного радиочастотного кабеля к дефектоскопу и вставить его в ориентирующую рамку;
- поместить ПЭП вместе с ориентирующей рамкой на внутреннюю поверхность испытательного образца;
- дефектоскоп настроить согласно Г.5.2 – Г.5.4.

Остальные настройки приборов установить в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации.

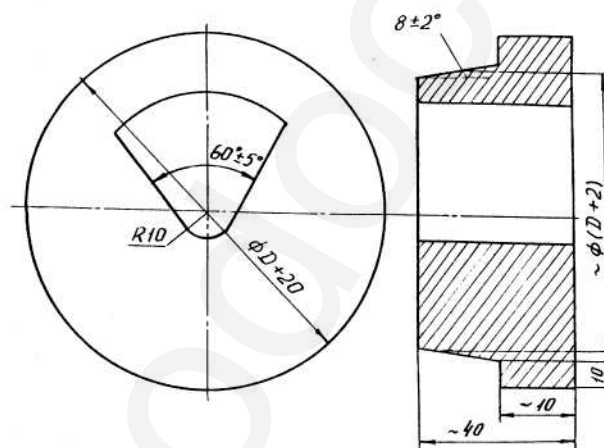
**Г.6.3** Подготовку к контролю (рисунок Г.10) проводить в следующей последовательности:

- вставить в канал ориентирующее приспособление с ультразвуковым ПЭП, закрыть нижний конец канала пробкой, наполнить канал приготовленной по Г.2.2 водой (маслом) до максимально возможного уровня либо использовать приспособления подачи контактной жидкости под протектор ПЭП;
- подключить ПЭП кабелем к дефектоскопу;
- присоединить первое звено штанги к ориентирующему приспособлению, поставить вторую заглушку с окном (рисунок Г.11);
- совместить продольную метку на штанге с меткой на торце ротора (наносится мелом, маркером, краской и т.п.);
- долить воду в канал ротора до предельного уровня в случае неиспользования подачи воды под протектор.



- |                                         |                         |
|-----------------------------------------|-------------------------|
| 1 - ротор;                              | 5 - штанга;             |
| 2 - уровень жидкости;                   | 6 - пробка с окном;     |
| 3 - ориентирующее приспособление с ПЭП; | 7 - поверхность канала; |
| 4 - высокочастотный кабель;             | 8 - пробка              |

**Рисунок Г.10 – Схема УЗК ротора с погружением призматического ПЭП в жидкость**



**Рисунок Г.11 – Опорно-уплотняющая заглушка с окном**

#### **Г.6.4 Проведение контроля**

**Г.6.4.1** Контроль ротора следует проводить в четыре приема: два положения ПЭП (отличаются направлением излучения) для выявления продольных дефектов и два - для выявления поперечных дефектов.

**Г.6.4.2** В случае неиспользования систем подачи воды под протектор ПЭП, то после контроля части, заполненной водой, ротор повернуть вокруг оси на угол, обеспечивающий заполнение жидкостью и создание акустического контакта по поверхности, не подвергавшейся сканированию. После этого проводить контроль по Г.6.4.1. Число поворотов ротора определяется созданием надежного акустического контакта по всему периметру осевого канала и включает в себя не менее двух положений ротора.

**Г.6.4.3** Сканирование осуществлять поворотом штанги на угол, обеспечивающий контроль по поверхности, покрытой иммерсионной жидкостью, с шагом поступательного перемещения штанги не более 6 мм.

**Г.6.4.4** При обнаружении сигнала измерить амплитуду эхо-сигнала, условные размеры дефекта, положение эхо-сигнала на развертке экрана дефектоскопа и координаты ПЭП.

## Г.7 Определение характеристик дефектов

**Г.7.1** Для обнаруженного дефекта определить расстояние от торца ротора (линейную координату), азимут (угловую координату), эквивалентный диаметр (площадь), условную протяженность, условную высоту, глубину залегания дефекта, а также указывают амплитуду эхо-сигнала.

**Г.7.2** Расстояние от торца ротора до преобразователя (линейную координату) следует определять по делениям, нанесенным на штанге через каждые 10 мм. Промежуточные значения измерять линейкой.

**Г.7.3** Линейную координату поперечного дефекта (мм) определять по показаниям прибора от точки выхода луча в сочетании с отметками по длине используемой штанги.

**Г.7.4** Угловую координату (азимут) продольного дефекта определять следующим образом. Сканированием добиться максимальной амплитуды эхо-сигнала от дефекта. Совместить риски азимутального диска с риской на штанге, после чего зафиксировать показание азимута (в градусах) против нулевой отметки на роторе. Цена деления шкалы азимутального диска -  $5^\circ$ . По показаниям прибора определить глубину залегания дефекта, а по приведенным ниже данным - соответствующую этой глубине поправку  $\pm\Delta\phi$ , градус, (таблица Г.1).

**Таблица Г.1 – поправка азимутальной координаты в зависимости от глубины**

| Глубина залегания, мм    | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $\pm\Delta\phi$ , градус | 10 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 | 35 |

Сумма  $\phi$  и  $\pm\Delta\phi$  является угловой координатой дефекта.

Примечание - Знак "+" ставится при контроле по часовой стрелке, знак "-" - против часовой стрелки.

**Г.7.5** Эквивалентный диаметр дефекта (площадь) определять только в том случае, если амплитуда эхо-сигнала от дефекта равна или превышает уровень опорной кривой при измеренной глубине залегания дефекта. Превышение амплитуды эхо-сигнала на 6 дБ по сравнению с опорным означает, что эквивалентная площадь дефекта превышает площадь искусственного отражателя диаметром 3 мм в два раза, на 12 дБ - в четыре раза, на 18 дБ - в восемь раз и т.д.

**Г.7.6** Условную протяженность дефекта определять по двум крайним положениям ПЭП, в которых амплитуда эхо-сигнала уменьшается от максимума до контрольного уровня. Контрольный уровень устанавливать на 6 дБ ниже опорного уровня для соответствующей глубины. Для продольного дефекта условная протяженность соответствует разнице двух линейных координат, соответствующих указанным положениям ПЭП. Условная протяженность поперечного дефекта соответствует разнице двух угловых координат с учетом глубины залегания дефекта.

**Г.7.7** Условную высоту дефекта определять на контрольном уровне как ширину основания огибающей последовательности эхо-сигналов на экране

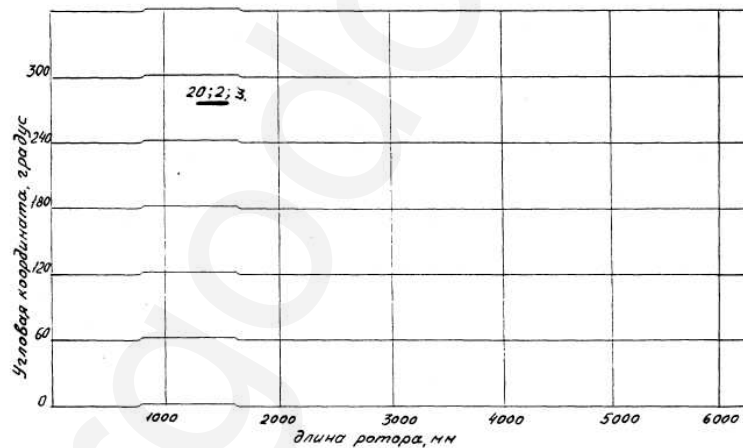
дефектоскопа. Условную высоту протяженного дефекта измерять в том месте, где эхо-сигнал имеет максимальную амплитуду.

**Г.7.8** Глубину залегания дефекта и амплитуду определять согласно указаниям технических описаний и инструкций по эксплуатации дефектоскопов.

## Г.8 Оформление результатов контроля

**Г.8.1** Результаты контроля записать в протокол и нанести на схему развертки (дефектограмму) осевого канала ротора. В протоколе указать название электростанции, тип ротора (ВД, СД), тип турбины, станционный номер турбины, заводской номер ротора (выбит на торце), дату проведения контроля, состав команды специалистов, проводящих контроль, направление отсчета координат (по ходу или против хода пара) и угловые координаты (координату «0» «привязывают» к определенному по месту номеру отверстия под болт на полумуфте). Протокол следует подписывать всем членам бригады с указанием должности.

**Г.8.2** На рисунке Г.13 приведен пример дефектограммы осевого канала.



Угловая координата  $0^{\circ}$  совпадает с крепежным отверстием № 1 на полумуфте ротора

**Рисунок Г.12– Пример дефектограммы осевого канала ротора**

**Г.8.3** Обнаруженный линейный дефект расположен на расстоянии 1250 мм от торца ротора против хода пара (со стороны генератора), имеет азимут  $270^{\circ}$  по отношению к крепежному отверстию № 1 на полумуфте ротора и условную протяженность - 250 мм. Числа над условным обозначением дефекта указывают глубину его залегания (20 мм), эквивалентный диаметр (2 мм), условную высоту (3 мм).

**Г.8.4** На рисунке Г.12 угловая координата  $0^{\circ}$  совпадает с крепежным отверстием №1 на полумуфте ротора.

**Г.8.5** Заключение о результатах УЗК должно быть подписано специалистом по неразрушающему контролю второго или третьего уровня.

Таблица Г.2 - Результаты УЗК ротора турбины со стороны осевого канала

| Расстояние дефекта от торца ротора, мм | Азимут, ч | Глубина залегания дефекта, мм | Амплитуда сигнала, дБ | Условная протяженность, мм | Условная высота дефекта, мм | Эквивалентный диаметр дефекта (площадь), мм |
|----------------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
|                                        |           |                               |                       |                            |                             |                                             |

(подписи всех специалистов с указанием уровня и номера сертификата)

## Г.9 Изготовление испытательного образца

**Г.9.1** В испытательном образце следует изготавливать искусственные отражатели типа сверлений с плоским дном диаметром 3 мм и риск.

**Г.9.2** Разметку для изготовления сверлений, начинающихся на цилиндрической поверхности образца, вести следующим образом.

**Г.9.3** Согласно рисунку Г.3 отметить точки начала сверлений. Определить глубину, на которую изготавливается сверление. Направление сверления определить с помощью шаблона, представляющего собой угольник с углом при вершине 120°.

**Г.9.4** Шаблон накладывать так, чтобы угол при вершине находился на окружности, соответствующей внутренней поверхности образца, и при этом одна грань пересекала центр внутренней окружности, а другая - точку выхода оси сверления на внешнюю окружность. Таким образом, разметить пять направлений сверлений на внешней цилиндрической поверхности образца. Четыре сверления выполнить на торцевой поверхности. Шероховатость плоской поверхности сверлений не должна превышать  $R_z = 20$  мкм. Глубина рисков на внутренней поверхности - 0,1 мм. Одну риску изготовить путем проточки на токарном станке, другая - строганием. Форма рисков - треугольная с углом 15°.

## Г.10 Изготовление оснастки для наклонных преобразователей для ввода ультразвука в азимутальную и осевую плоскость ротора

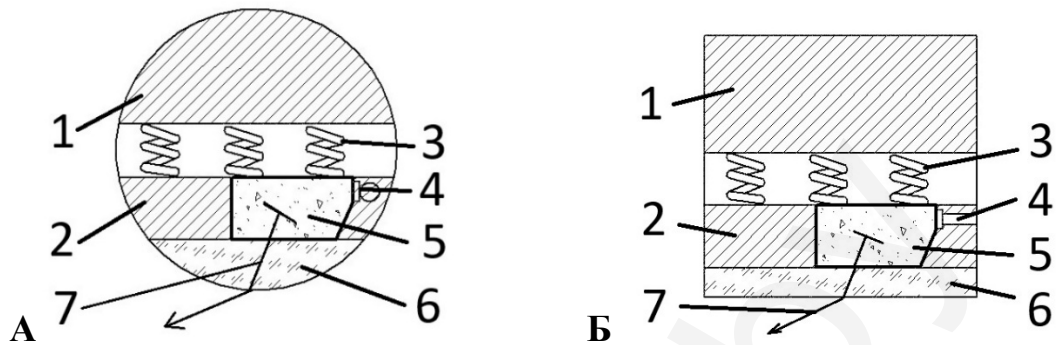
**Г.10.1** ПЭП следует выбирать из стандартных серийных или разборных призматических преобразователей на частоту от 1,8 МГц до 4,0 МГц.

**Г.10.2** Серийно изготовленные ПЭП как правило имеют негерметичный корпус. Перед началом сборки устройства оснастки и либо перед началом контроля выполнить мероприятия по герметизации корпуса оснастки и контактной группы ПЭП.

**Г.10.3** Для возбуждения поперечных волн применять ПЭП с углом призмы  $46^\circ \pm 0,5^\circ$ .

**Г.10.4** Общий вид оснастки для азимутальной и продольной плоскостей сканирования представлен на рисунке Г.13.

**Г.10.5** Спецификации используемых серийных ПЭП должны соответствовать требованиям настоящего приложения.



1 - корпус оснастки;  
 2 - корпус оснастки;  
 3 - прижимные пружины;  
 4 - выход высокочастотного кабеля;

5 - серийный ПЭП;  
 6 - дистанцирующая проставка из оргстекла;  
 7 - траектория пучка ультразвуковых лучей;

**Рисунок Г.13 – Общий вид оснастки для сканирования в азимутальной плоскости – А, в продольной плоскости - Б**

**Г.10.6** Собранную оснастку с преобразователем присоединить кабелем к дефектоскопу. При необходимости уменьшить реверберационные шумы наносят на лобовую (кроме контактной) поверхность дистанцирующей проставки из оргстекла треугольный профиль (как у серийных преобразователей).

**Г.10.6** Собранную оснастку с установленным ПЭП проверяют на соответствие настоящему положению по углам ввода.

## Приложение Д

### Методические рекомендации по измерению остаточной деформации ползучести ротора со стороны осевого канала

#### Д.1 Общие положения

Д.1.1 Измерения остаточных деформаций в осевых расточках роторов паровых турбин следует проводить в период капитальных ремонтов турбин на роторах высокого и среднего давления, работающих при температуре пара перед цилиндрами 450 °С и выше, с целью получения данных для оценки технического состояния роторов и прогнозирования их остаточного ресурса.

Д.1.2 Периодичность контроля устанавливается СТП 33240.17.400.

Д.1.3 Не проводится контроль роторов производства НПО «Турбоатом», а также роторов других заводов с диаметром осевого канала менее 80 мм или более 140 мм или имеющих на поверхности осевого канала локальные расточки, выборки, уступы, препятствующие перемещению нутромера по поверхности канала.

Д.1.4 Измерение накопленной деформации осуществлять до зачистки поверхности канала от окалины хонинговальной головкой. В том случае, если на контролируемом роторе до измерения накопленной деформации проводилась зачистка поверхности, дважды проводится измерение диаметра канала: первый раз - после зачистки канала, второй - через определенный период эксплуатации ротора до повторной зачистки канала. Оценку надежности эксплуатации ротора проводить путем сравнения фактической скорости накопления остаточной деформации ползучести за этот отрезок времени с допустимой скоростью, в соответствии с критерием, приведенным в 9.1.

#### Д.2 Средства измерения

Д.2.1 Измерения проводить механическими или электронными нутромерами для труднодоступных мест с удлиняющими штангами длиной не менее 4 м. Порядок работы с нутромерами устанавливается инструкциями, прилагаемыми к приборам.

Д.2.2 Допускается применение любых приборов, обеспечивающих точность измерения диаметра канала не менее 0,01 мм на расстоянии от торца ротора не менее 4 м и позволяющих фиксировать положение датчика по длине ротора с точностью не менее 5 мм.

#### Д.3 Подготовка ротора к измерениям

Д.3.1 Ротор установить на козлах на высоте от 1,0 до 1,5 м со свободным доступом к обоим торцам на расстоянии от 3 до 4 м.

Д.3.2 Удалить пробки, закрывающие осевой канал.

**Д.3.3** Из осевого канала удалить посторонние предметы; канал очистить ветошью и металлическими щетками до металлического блеска, продуть сжатым воздухом, обезжирить ацетоном или другим растворителем.

**Д.3.4** Провести подготовку прибора к работе.

#### **Д.4 Проведение измерений**

**Д.4.1** Исходный торец ротора, от которого ведется отсчет глубин, выбирать так, чтобы продвижение прибора вглубь расточки при измерениях совпадало с направлением хода пара. В двухпоточных роторах с подводом пара к середине ротора выбор исходного торца является произвольным. Глубина замера должна быть такой, чтобы она охватывала первый и три последующих по ходу пара дисков.

**Д.4.2** Расстояние вглубь канала отсчитывать торца полумуфты. Номера отверстий, напротив которых выполняются измерения, записывать в протокол испытаний.

**Д.4.3** Все измерения проводить дважды: первый раз - при движении прибора вглубь канала до четвертой ступени включительно, второй раз - при движении прибора в обратном направлении.

**Д.4.4** Показания прибора снимать через каждые 100 мм осевого перемещения и заноситься в протокол. Там же указывается наработка ротора в часах к моменту измерений и данные о предыдущих замерах.

**Д.4.5** После измерений, указанных в 4.3, ротор поворачивать на 90°, вновь записывают в протоколе номера отверстий, напротив которых выполняются измерения, и повторять измерения согласно 4.3, 4.4.

**Д.4.6** В каждом положении ротора измерять минимальный диаметр осевого канала штихмассом с точностью 0,01 мм. Измерения проводить на расстоянии от 50 до 60 мм от торца ротора.

**Д.4.7** Если запланировано хонингование расточки, все измерения, предусмотренные 4.4, 4.5 и 4.6, проводить как до хонингования, так и после него.

**Д.4.8** При производстве измерений на роторе, подвергавшемся данному виду контроля ранее при предыдущих ремонтах, все операции измерения повторять, причем замеры должны быть проведены в тех же плоскостях (определяемых номерами отверстий), в каких проводились предыдущие замеры.

#### **Д.5 Обработка результатов измерений**

**Д.5.1** Обработку результатов измерений проводить на основании данных, записанных в протоколе.

**Д.5.2** Остаточная деформация ползучести от начала эксплуатации до  $i$ -го измерения определяется по формуле

$$E = \frac{D_i - D_{start}}{D_{nn}} \cdot 100\%$$

где  $E$  — остаточная деформация ползучести, %;

$D_i$  — результат текущего измерения при  $i$ -м измерении в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (горизонтальной и вертикальной), мм;

$D_{start}$  — исходный диаметр осевого канала, измеренный в исходном состоянии, мм;

$D_{nn}$  — номинальный диаметр заводской проточки осевого канала, мм, допускается использование значений  $D_{start}$ .

В формулу подставляются сначала результаты измерений в горизонтальной, а затем в вертикальной плоскостях по каждому контрольному сечению. Наибольшее полученное значение принимается за расчетное.

**Д.5.3** Результат вычислений представлять в графической форме распределения остаточных деформаций ползучести по длине ротора, а также максимальную деформацию для двух взаимно перпендикулярных сечений, использованных при замерах.

**Д.5.4** Критерии надежности для оценки результатов измерений приведены в 9.1.

**Д.5.5** В том случае, если измерения остаточной деформации ползучести проводились до зачистки поверхности осевого канала хонинговальной головкой, для оценки надежности роторов используются оба критерия: по величине накопленной деформации ползучести и скорости накопления остаточной деформации. Решение о работоспособности ротора следует принимать по более консервативному из двух критериев. Если измерение остаточной деформации осуществляется после зачистки поверхности канала, для оценки эксплуатационной надежности ротора использовать только критерий по допустимой скорости ползучести.

**Д.5.6** Результаты контроля могут быть использованы для экспериментальной оценки величины накопленной в роторе поврежденности от ползучести. При этом, накопленная поврежденность соответствует отношению величины измеренной деформации ползучести к предельно допустимой для данной марки стали.

## Приложение Е

### Фотографирование дефектов на поверхности осевого канала ротора

**Е.1** При обнаружении на поверхности осевого канала недопустимых дефектов при визуальном контроле или магнитопорошковом контроле или при капиллярном контроле их необходимо фотографировать.

**Е.2** Фотографирование выявленных дефектов следует проводить фотосистемой эндоскопа. При фотографировании проводить сканирование дефекта системами эндоскопа с целью определения его размеров и геометрии.

**Е.3** Освещение дефекта для фотографирования проводить штатной осветительной системой эндоскопа или специальной лампой.

**Е.4** Для фотографирования дефектов непосредственно фотоаппаратом ротор повернуть вокруг оси так, чтобы выявленный дефект оказался в крайнем верхнем положении. В канал ротора с помощью штанги диаметром от 4 до 6 мм ввести зеркало под углом  $45^\circ$  к оси ротора. Зеркало установить так, чтобы в нем наблюдалось освещенное изображение дефекта. Дефект освещать специальной лампой или осветительной системой эндоскопа. Положение зеркала контролировать через видоискатель фотоаппарата, укрепленного на штативе со стороны ближайшего к дефекту конца канала ротора.

**Е.6** Экспозиция при съемке зависит от ряда факторов (тип, размеры и освещенность дефекта, чувствительность матрицы и др.) и ее следует определять опытным путем.

**Е.7** Фотографии дефектов следует прикладывать к протоколу с указанием координат и размеров дефектов или индикаций.

## Приложение Ж

### Методические рекомендации по ультразвуковому контролю т-образных лопаточных пазов ободов дисков без разлопачивания

**Ж.1** Настоящие методические рекомендации устанавливают порядок проведения ультразвукового контроля (УЗК) без разлопачивания ободов дисков роторов в районе т-образного паза под хвостовики лопаток с толщиной щеки обода Н от 10 до 50 мм с целью выявления дефектов типа трещин глубиной более 0,5 мм, развивающихся от верхнего концентратора на внутренней стороне паза как в передней, так и в задней щеках обода относительно хода пара.

**Ж.2** УЗК обода диска проводить ультразвуковым импульсным дефектоскопом и наклонным преобразователем с частотой от 1,8 до 5,0 МГц с габаритными размерами не более 25х18х30 мм.

**Ж.3** Настройку скорости развертки и чувствительности дефектоскопа проводить на стандартном образце предприятия (СОП), изготовленного из той же стали, что и контролируемый ротор, с искусственным отражателем в виде наклонного пропила глубиной 1 мм. (рисунок Ж.1).

**Ж.3.1** Настройку скорости развертки проводить следующим образом:

- преобразователь установить на рабочую поверхность СОП;
- найти максимальный эхо-сигнал от искусственного отражателя и установить его на экране дефектоскопа;
- браковочному уровню 0 дБ соответствует уровень эхо-сигнала от искусственного отражателя
- для определения зоны контроля подвести центр строб - импульса под максимальный эхосигнал и установить его ширину, равной 10 мм.

**Ж.3.2** При настройке чувствительности дефектоскопа, полученной по Ж.3.1, уровень минус 6 дБ от браковочного принимать за уровень поиска и фиксации допустимых дефектов.

**Ж.4** Перед проведением контроля поверхность обода очистить от рыхлых отложений.

**Ж.5** Проводить контроль следующим образом:

- преобразователь установить на боковую переднюю (по ходу пара) грань обода диска;
- сканирование преобразователя проводить вперед-назад вдоль акустического луча, перемещая преобразователь, при этом, по периметру обода;
- после сканирования по всей окружности передней щеки обода, подобную операцию повторить с противоположной стороны диска (задней щеки обода).

**Ж.6** Качество металла обода оценивать следующим образом: обод диска браковать, если амплитуда эхо-сигнала от верхнего концентратора т-образного паза равна или превышает браковочный уровень или условная протяженность одиночного фиксируемого дефекта превышает толщину щеки диска в зоне контроля. Сигналы с амплитудой ниже браковочного уровня и выше уровня поиска и фиксации отмечать в протоколах как допустимые. Сигналы от несплошностей ниже уровня поиска и фиксации не учитывать. При этом любые сигналы с

характерными признаками трещин подлежат фиксации и детальному исследованию.

Примечания

1 Параметры преобразователя (п.Ж.2), размеры искусственного отражателя (п.Ж.3) и порядок интерпретации эхо-сигналов на экране дефектоскопа при проведении контроля (п.Ж.4) с описанием хода ультразвуковых лучей устанавливать для каждого типоразмера обода.

2 Настоящие методические рекомендации использовать также при контроле замкового соединения обода с учетом его фактических размеров.

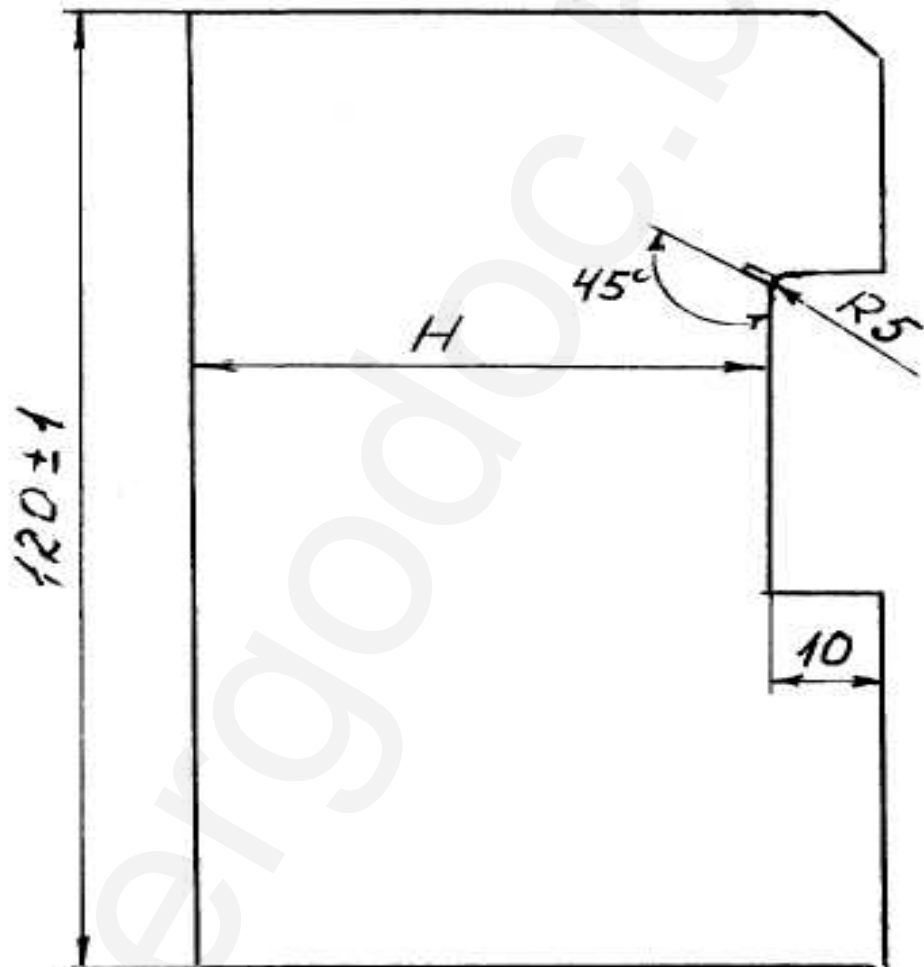


Рисунок Ж.1 – Стандартный образец предприятия для настройки скорости развертки и чувствительности дефектоскопа

## Приложение И

### Методические указания по магнитопорошковому контролю металла дисков ротора турбины

#### И.1 Основные положения

**И.1.1** Магнитопорошковый контроль (далее – МПД) дисков предназначен для обнаружения коррозионных и других повреждений на поверхности и в подповерхностном слое металла.

К ним относятся трещины, язвенная и питтинговая коррозия, флокены, поры и другие дефекты сплошности и отклонения качества металла, создающие неоднородность магнитного поля на поверхности изделия.

**И.1.2** Поверхности дисков перед проведением МПД должны быть зачищены до металлического блеска, при этом шероховатость поверхности не должна превышать  $R_z = 40$  мкм.

**И.1.3** Поверхности обода полотна и ступицы диска следует зачищать пескоструйной обработкой с последующим удалением ее следов («рябизны поверхности») путем зачистки абразивной шкуркой.

В условиях электростанций при невозможности пескоструйной обработки допускается проводить зачистку поверхности дисков металлическими щетками для удаления отложений с последующей промывкой водой и зачисткой до металлического блеска абразивной шкуркой.

**И.1.4** Параметры контроля, применяемые дефектоскопические средства и аппаратура, квалификация дефектоскопистов, виды намагничивания, уровни чувствительности, охрана труда должны соответствовать ГОСТ 21105.

**И.1.5** При МПД выполняются следующие технологические операции: подготовка поверхности согласно п.п. И.1.2 и И.1.3 с последующим ее обезжириванием; намагничивание; нанесение магнитной водной суспензии; оценка результатов; отметка дефектного места на поверхности контролируемого металла; составление технической документации о проведенном контроле.

**И.1.6** На участке контроля кроме общего освещения должно быть местное освещение с экраном, предохраняющим глаза дефектоскописта от прямого воздействия яркого света. Освещенность контролируемой поверхности должна быть не менее 500 лк.

**И.1.7** После зачистки дисков согласно п.п. И.1.2 и И.1.3 необходимо провести визуальный контроль поверхности дисков и удалить видимые дефекты до проведения МПД.

**И.1.8** Для МПД дисков рекомендуется применять переносные или передвижные магнитопорошковые дефектоскопы с выключателем, килоамперметром и регулятором силы тока.

**И.1.9** Результаты МПД должны регистрироваться в рабочих записях с указанием принадлежности диска, времени эксплуатации, характеристик дефектов (протяженности, места расположения, ориентации, глубины после выборки), типа

дефектоскопа, параметров контроля, времени и даты МПД, фамилии дефектоскописта.

Место обнаруженного дефекта на поверхности диска отмечается несмываемым образом (маркер, мел, краска, маркеры и т.п.).

## **И.2 Основные указания по проведению контроля дисков**

**И.2.1** Магнитопорошковый контроль дисков проводится способом приложенного поля (СПП) по участкам площадью не более  $200 \times 200$  мм<sup>2</sup>.

**И.2.2** Применяют циркулярное намагничивание путем пропускания электрического тока или полюсное намагничивание с помощью приставных магнитов.

В случае циркулярного намагничивания с применением электродов их контактные наконечники должны быть изготовлены из цинка или свинца (для предотвращения прижогов в местах контакта электродов с контролируемой поверхностью). При наличии следов оплавления металла наконечников места контакта на поверхности дисков следует зачистить абразивной шкуркой.

Силу тока (А) для циркулярного намагничивания следует рассчитывать по формулам:

$$I_{\sim} = 1,2 \cdot H_{\text{пр}} \cdot l = 40 \cdot l \quad \text{для выпрямленного тока;}$$

$$I_{\sim} = 1,5 \cdot H_{\text{пр}} \cdot l = 50 \cdot l \quad \text{для переменного тока;}$$

где  $l$  - расстояние между электродами, см;

$H_{\text{пр}}$  - напряженность приложенного намагничивающего поля, А/см. Напряженность приложенного намагничивающего поля для контроля диска из стали 34ХНЗМА по режиму «Б» (приложение 2, табл. 2, ГОСТ 21105-75) равна

$$H_{\text{пр}} = 26 + 1,1H_c = 34 \text{ А/см,}$$

где  $H_c = 7,5$  А/см - коэрцитивная сила для указанной стали.

**И.2.3** Особенно тщательно с намагничиванием во взаимно перпендикулярных направлениях (с углом между ними  $90 \pm 20^\circ$ ) следует контролировать: ободья дисков вблизи заклепок; места у разгрузочных отверстий на полотне; ступичную часть диска.

Контроль мест у разгрузочных отверстий на полотне при циркулярном намагничивании следует проводить пропусканием намагничивающего тока по металлическому прутку, проходящему через это отверстие, во избежание прижогов на поверхности диска.

Контроль мест вблизи заклепок, на ободьях диска при циркулярном намагничивании рекомендуется выполнять пропусканием тока через заклепку.

При этом расчет намагничивающего тока  $I$  следует выполнять по формуле:

$$I = H_{\text{пр}} \cdot \pi \cdot d = 110 \cdot d,$$

где  $d$  - диаметр отверстия, см.

## **СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ**

**И.2.4** Рекомендуется при проведении МПД дисков использовать черную суспензию на контрастном грунте либо люминесцентную суспензию в ультрафиолете.

Нанесение магнитной суспензии на поверхность контролируемого участка должно прекращаться за 2–3 с до выключения намагничивающего тока.

**И.2.5** Результаты МПД оценивают по наличию на контролируемом участке поверхности металла диска индикаторного следа дефекта (валик магнитного порошка). Длина этого следа примерно равна протяженности обнаруженного дефекта.

**И.2.6** Трещины и трещиноподобные дефекты всех видов и направлений на поверхности дисков не допускаются.

## Приложение К

### Методические рекомендации по ультразвуковому контролю цельнокованных роторов паровых турбин на наличие поперечных трещин на наружной поверхности

#### К.1 Общие положения

**К.1.1** Настоящие методические рекомендации предназначены для выявления поперечных (кольцевых) дефектов типа трещин, зарождающихся на наружной поверхности роторов паровых турбин в зонах радиусных переходов (галтелей дисков, тепловых канавок, на шейках валов), а также поперечных внутренних металлургических дефектов в поковке ротора.

**К.1.2** Описанные ниже методы следует рассматривать как экспрессные и применять их перед уточняющим контролем ротора по методикам, приведенным в Приложениях А, Б, В, Г, Л.

**К.1.3** Настоящие методические рекомендации предполагают прозвучивание ротора (рисунок К.1):

- теньвым методом с торцов (Т1 / Т2);
- эхо-методом с торцов (Э1 и Э2);
- эхо-методом с цилиндрической поверхности, свободной для перемещения преобразователя (Ц);
- эхо-методом с поверхностями дисков (Д);

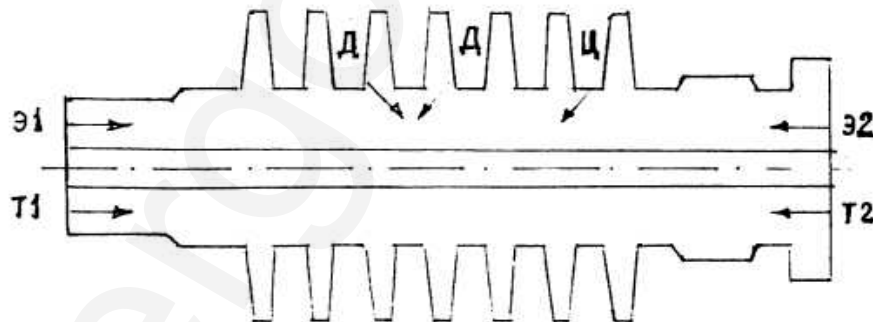


Рисунок К.1 – Схема прозвучивания ротора

**К.1.4** Поверхность сканирования перед контролем должна быть очищена от окалины, загрязнений и иметь шероховатость не хуже  $R_z = 40$  мкм по ГОСТ 2789.

**К.1.5** Контроль следует проводить:

- в закрытом помещении при температуре окружающего воздуха и поверхности ротора от  $+15$  °С до  $+40$  °С;
- в светлое время суток;
- при экранировании постов электросварки, резки металла;
- при отсутствии вибрации, загрязнений, пыли, препятствующих проведению контроля.

**К.1.6** Контроль должен выполняться составом из 2 или 3 специалистов с квалификацией одного из них не ниже второго уровня по акустическим (ультразвуковым) методам контроля.

## **К.2 Оборудование и материалы**

**К.2.1** Для контроля, как базовый, должен применяться прошедший поверку ультразвуковой дефектоскоп с шириной развертки не менее 6 м для продольных волн.

**К.2.2** В качестве контактной жидкости применять технические средства, используемые при ультразвуковом контроле.

**К.2.3** Для подключения преобразователей при теневом методе контроля следует применять высокочастотный кабель, превышающий длину ротора не более, чем на 10 м, а при контроле эхо - методом - высокочастотный кабель, входящий в комплект дефектоскопа.

**К.2.4** При контроле теневым методом использовать пару одинаковых по типу прямых преобразователей с частотой 2 МГц (от 1 до 4 МГц) и диаметром пьезоэлемента не менее 24 мм.

**К.2.5** При контроле эхо - методом с торцевых поверхностей применять прямые преобразователи с частотой от 2 до 4 МГц, диаметром пьезоэлемента не менее 24 мм и имеющих АРД - диаграммы или другие возможности для расчета эквивалентной площади дефектов и условной чувствительности контроля.

**К.2.6** При контроле эхо - методом с цилиндрической поверхности ротора и с поверхностей дисков применять наклонные преобразователи с углами ввода от 35° до 70°, частотой от 2 до 5 МГц и имеющие АРД - диаграммы или другие возможности для расчета эквивалентной площади дефектов и условной чувствительности контроля.

**К.2.7** Все преобразователи должны пройти соответствующую метрологическую поверку (калибровку).

## **К.3 Контроль теневым методом**

**К.3.1** При теневом контроле торцы ротора следует разметить на 12 и более участков по аналогии с часовым циферблатом. Значения «0-12» отсчитывать от установленного по месту номера болтового отверстия на полумуфте.

**К.3.2** Ширина развертки дефектоскопа должна быть установлена максимальной двойной длине ротора.

**К.3.3** После нанесения контрольной смазки, прямые преобразователи, подключенные к дефектоскопу по совмещенной или раздельно-совмещенной схеме, установить на торцевые поверхности ротора друг против друга на предполагаемый бездефектный участок (рисунок К.2).

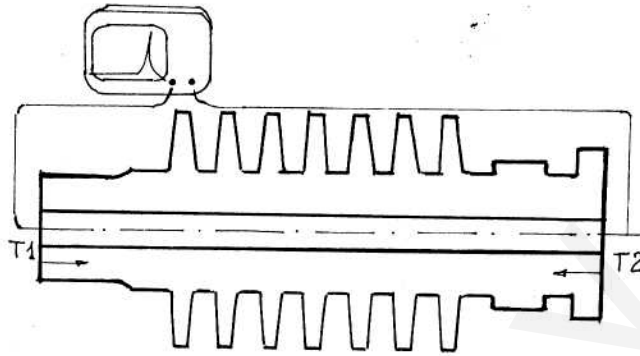


Рисунок К.2 – Схема установки преобразователей

**К.3.4** Поочередными перемещениями преобразователей найти максимальный сигнал и выставить высоту сигнала на уровне 80% высоты экрана. Уровень данного сигнала считать опорным равным 0 дБ.

**К.3.5** На полученной чувствительности провести контроль попеременной установкой преобразователей друг против друга с нахождением максимальных амплитуд на 12 и более участках (дискретное сканирование).

**К.3.6** Признаком наличия дефекта на пути ультразвукового луча является падение амплитуды прошедшего сигнала до 6 дБ от опорного и ниже.

**К.3.7** При необходимости определить проекцию дефекта на торец ротора.

**К.3.8** Координаты дефекта по длине и сечению ротора, его условные размеры определяются и уточняются эхо - методом с торцевых и цилиндрических поверхностей и поверхностей дисков.

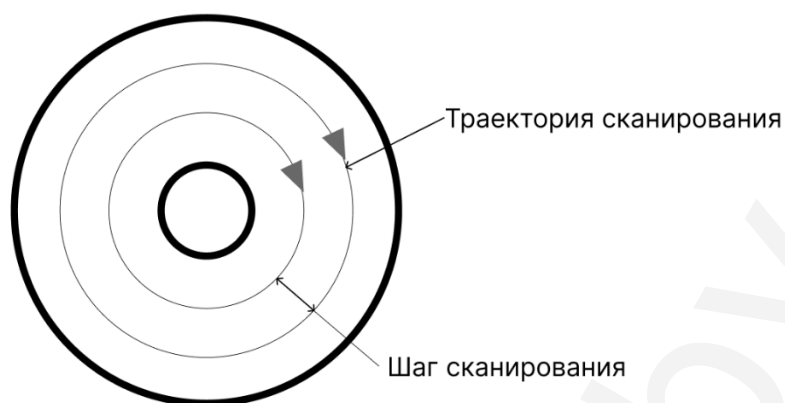
#### **К.4 Контроль эхо - методом с торцевых поверхностей ротора**

**К.4.1** Величину значения амплитуды опорного сигнала снимать с цилиндрической поверхности ротора с учетом кривизны наружной поверхности и диаметра осевого канала.

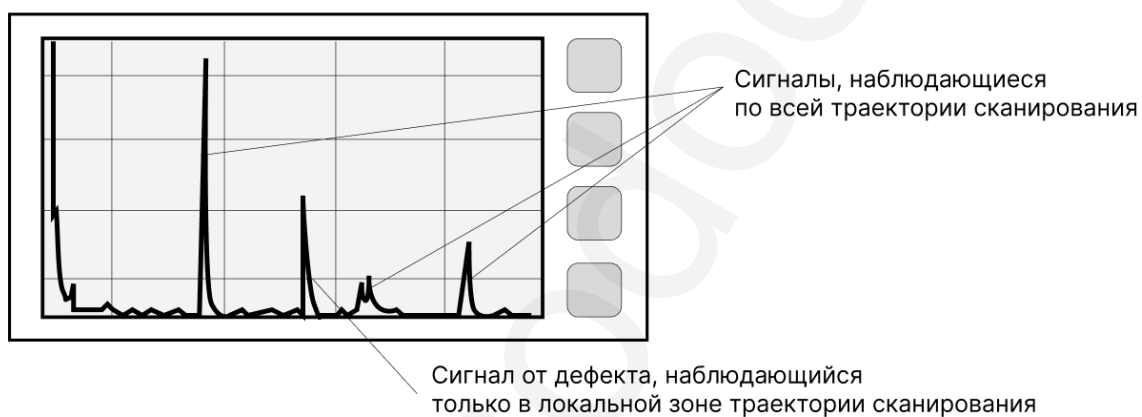
**К.4.2** Ширину развертки установить не менее половины длины ротора.

**К.4.3** Условная чувствительность контроля в  $\text{мм}^2$ , рассчитанная по АРД - диаграмме на половину длины ротора, не должна быть меньше площади пьезоэлемента преобразователя. В противном случае следует применять более мощный ПЭП, ПЭП с другой частотой или выбрать прибор с более мощным генератором зондирующих импульсов.

**К.4.4** Сканирование проводить по торцевым поверхностям ротора на максимально возможной чувствительности по траектории концентрических окружностей (см. рисунок К.3). В этом случае мешающие сигналы от концентраторов на поверхности ротора будут наблюдаться по всей выбранной траектории перемещения преобразователя, а сигнал от дефекта будет появляться только на определенных ее участках (рисунок К.4). Шаг траектории сканирования должен составлять 1–1,5 диаметра пьезопластины.

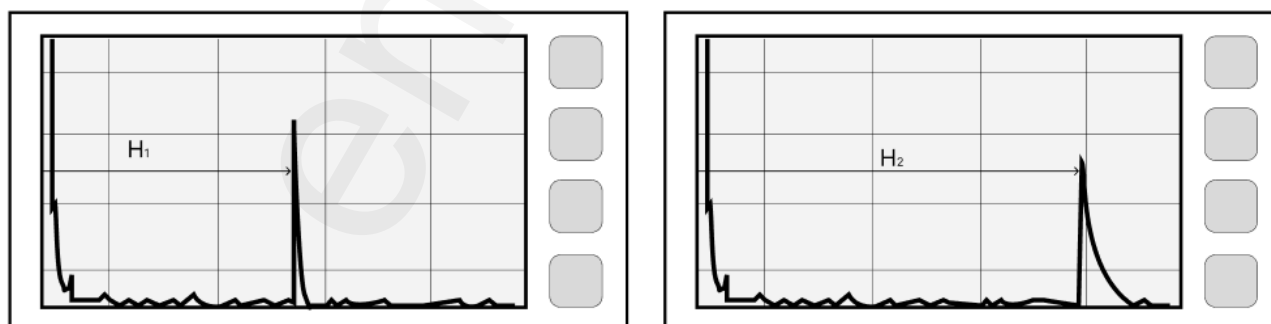


**Рисунок К.3 – Траектории сканирования торцевой поверхности**



**Рисунок К.4 – Вид сигналов от дефекта, полученных при сканировании торцевой поверхности ротора**

**К.4.5** Обнаруженный с одного из торцов дефект при возможностях аппаратуры по ширине развертки должен быть подтвержден с другого торца (рисунок К.5).



**Рисунок К.5 – Вид сигнала от дефекта, полученный от противоположных торцов**

### К.5 Контроль эхо-методом с цилиндрической поверхности

**К.5.1** Контроль проводить по наружной поверхности ротора в местах свободных для перемещения наклонных преобразователей.

**К.5.2** Ширину развертки установить в зависимости от толщины прозвучиваемого металла и угла ввода преобразователя (см. рисунок К.6).

**К.5.3** Рекомендуемые углы ввода:

- от  $30^\circ$  до  $50^\circ$  - для обнаружения дефектов на глубинах, близких к осевому каналу (частота от 1,8 до 4,0 МГц);
- от  $50^\circ$  до  $70^\circ$  - для обнаружения дефектов, близких к наружной поверхности (частота от 2,0 до 5,0 МГц).

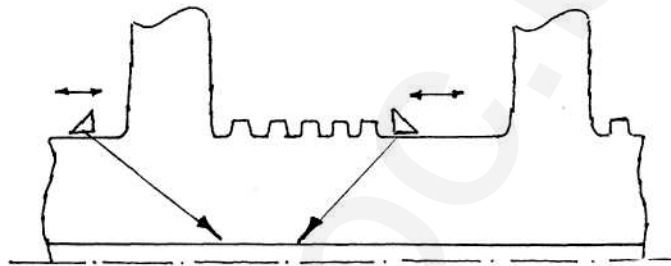


Рисунок К.6 – Схема прозвучивания ротора с наружной поверхности

**К.5.4** Контроль проводить сканированием вдоль оси ротора с шагом не более половины диаметра (ширины) пьезопластины на чувствительности  $3 \text{ мм}^2$ , полученной по АРД - диаграмме. Величину опорного сигнала снимать от двугранного угла какого-либо участка ротора с учетом, при необходимости, кривизны наружной поверхности и диаметра осевого канала. Для углов ввода от  $60^\circ$  до  $70^\circ$  величину опорного сигнала снимать с образцов (СО-2, СО-3, V1, V2 и т.д.), регламентируемых в АРД - диаграмме на конкретный преобразователь.

**К.5.5** При определении условных размеров дефектов необходимо учитывать кривизну ротора и глубину залегания дефекта (рисунок К.7).



Рисунок К.7

## К.6 Контроль с поверхностей дисков

**К.6.1** Контроль с поверхностей дисков проводить наклонными преобразователями с углами ввода от  $35^\circ$  до  $50^\circ$  и частотой от 1,8 до 4,0 МГц с целью обнаружения дефектов в околодисковых зонах (см. рисунок К.8)

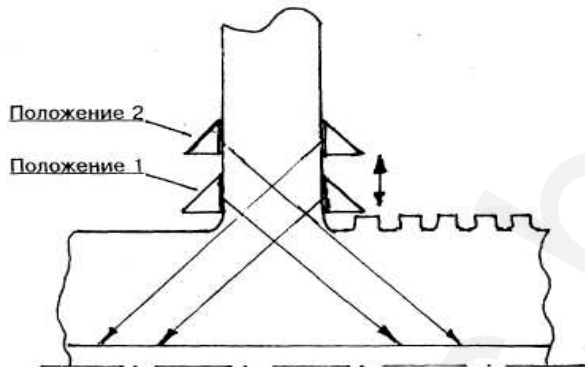


Рисунок К.8 – Схема прозвучивания ротора с поверхностями дисков

**К.6.2** Зона перемещения преобразователя ограничивается галтельным переходом к цилиндрической поверхности (положение 1) и толщиной диска (положение 2).

**К.6.3** Ширину развертки установить в зависимости от угла ввода и наибольшего расстояния до поверхности осевого канала при максимальном удалении преобразователя от цилиндрической поверхности (положение 2).

**К.6.4** Контроль проводить сканированием к оси ротора с шагом не более половины диаметра (ширины) пьезопластины на чувствительности 3 мм<sup>2</sup>, полученной по АРД - диаграмме. Величину опорного сигнала снимать от двугранного угла какого-либо участка ротора с учетом, при необходимости, кривизны наружной поверхности и диаметра осевого канала.

**К.6.5** При определении глубины залегания обнаруженного дефекта от цилиндрической поверхности необходимо учитывать, что преобразователь находится в плоскости, развернутой на  $90^\circ$ , а при определении условных размеров дефекта - кривизну поверхности в точке ввода ультразвуковых колебаний.

## К.7 Оформление результатов контроля

**К.7.1** В протоколе контроля для выявленных дефектов указать их обобщенные параметры по всем направлениям и способам озвучивания: максимальную глубину залегания, максимальная эквивалентная площадь, максимальные условные размеры, расстояние от торца, окружные координаты.

**К.7.2** При обнаружении дефекта вблизи наружной поверхности дополнительно следует проводить контроль дефектного участка капиллярным или магнитопорошковым или вихретоковым методами контроля или травлением с предварительной зачисткой места контроля.

## **Приложение Л**

### **Методические рекомендации по вихретоковому контролю тепловых канавок и радиусных переходов на наружной поверхности роторов**

#### **Л.1 Общие положения**

**Л.1.1** Настоящие методические рекомендации предназначены для выявления несплошностей типа трещин глубиной 1 мм и более в металле цельнокованных роторов паровых турбин в зонах концентрации напряжений на наружной поверхности: тепловых канавок, придисковых галтелей, радиусных переходов, болтовых отверстий на полумуфте, разгрузочных и заклепочных отверстий на полотне дисков, посадочных мест под лопатки на ободе дисков (при разлопачивании ступени).

**Л.1.2** Перед проведением контроля для каждого типа ротора следует изучить его чертежи и геометрические размеры концентраторов с целью выбора необходимых преобразователей.

**Л.1.3** Места, подлежащие контролю, зачистить от рыхлых отложений с помощью наждачного полотна или металлической щетки. Плотный слой окалины допускается не удалять (при выявлении недопустимого дефекта следует провести повторный контроль данного участка после удаления окалины).

#### **Л.2 Средства проведения контроля**

**Л.2.1** Для контроля применять вихретоковые дефектоскопы с комплексной площадью с возможностью применения абсолютных и дифференциальных вихретоковых преобразователей.

**Л.2.2** Настройку дефектоскопа проводить согласно паспорта или инструкции по эксплуатации используемого прибора.

**Л.2.3** Для контроля радиусных переходов, галтелей дисков, кромок отверстий на полумуфте и полотне дисков, грибовидных ободов использовать штатные абсолютные преобразователи карандашного типа, входящие в комплект приборов. Для контроля т-образных пазов под лопатки и тепловых канавок используются специальные абсолютные либо дифференциальные преобразователи, имеющие форму контактной поверхности соответствующе форме оборудования.

#### **Л.3 Порядок проведения контроля**

**Л.3.1** Перед проведением контроля провести настройку чувствительности вихретокового дефектоскопа с выбранным преобразователем на искусственном отражателе стандартного образца предприятия. Перед контролем радиусных переходов ротора настройку чувствительности осуществить на стандартном образце, входящем в комплект к прибору. Перед контролем тепловых канавок и

## **СТП XXXX.XX.430-XX**

т-образных пазов настройку чувствительности произвести на специальных образцах, изготовленных из той же стали, что и контролируемый ротор и повторяющий по форме контролируемый концентратор.

**Л.3.2** Для контроля металла в зоне концентраторов напряжений после настройки чувствительности прибора преобразователь установить на контролируемую поверхность с легким касанием ее, после чего проводить сканирование по всей окружности ротора.

**Л.3.3** Преобразователь для контроля т-образного паза предусматривает последовательный контроль верхнего и нижнего радиусов перехода на его внутренней поверхности. Контроль т – образного паза проводить в четыре операции поочередно для каждого верхнего и нижнего концентраторов левой и правой щеки диска ротора.

### **Л.4 Выявление дефектов**

**Л.4.1** При наличии дефекта в зоне размещения преобразователя на комплексной плоскости прибора появляется сигнал с отклонением в зону неспокошности.

**Л.4.2** При повторном сканировании уточнить место расположения дефекта по индикации, включающейся только при перемещении преобразователя над дефектом.

**Л.4.3** Дефектный участок зачистить от окалины и повторно идентифицировать.

**Л.4.4** При повторном выявлении обнаруженные дефекты отметить в протоколе контроля.

**Л.4.5** Ремонт ротора с выявленными дефектами проводить путем реконструкции или восстановления поврежденных элементов по согласованию со специализированными организациями или по рекомендациям завода-изготовителя турбины.

### **Л.5 Оформление результатов контроля**

**Л.5.1** По результатам контроля составить протокол, в котором указать дату контроля, тип турбины и ротора, ее стационарный номер, наработку и количество пусков турбины (ротора) на момент контроля, Ф.И.О. специалиста, проводившего контроль, типы использованного прибора и преобразователя, контролируемые зоны ротора, сведения и координаты выявленных дефектов.

**Л.5.2** При регистрации координат выявленных дефектов фиксировать их протяженность и окружную ориентацию относительно установленного по месту номера болтового отверстия на полумуфте ротора.

## **Приложение М**

### **Неразрушающие методы контроля корпусов турбин в процессе эксплуатации**

Для выявления трещин в корпусах турбин в практике контроля в течение длительного времени широко применяются методы магнитопорошкового контроля (МПД), капиллярного контроля (КД) - обычно применяется метод цветной дефектоскопии (ЦД), и метод вихретокового контроля (ВТК).

Ниже приведено краткое описание принципов указанных методов и основных технологических характеристик приемов контроля, позволяющих выбрать метод контроля и установить условия для его проведения.

#### **М.1 Капиллярная дефектоскопия**

**М.1.1** КД позволяет обнаружить дефекты, выходящие на поверхность: трещины, поры, раковины, межкристаллитную коррозию и другие несплошности. Для контроля корпусов применяют метод КД

**М.1.2** Поверхностные дефекты обнаруживаются по ярко окрашенным индикаторным следам, которые образуются на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей.

**М.1.3** Выявление трещин и трещиноподобных дефектов, имеющих ширину раскрытия более 0,5 мм, капиллярными методами контроля не гарантируется.

**М.1.4** Контролю КД подлежат поверхности изделия, принятые по результатам визуального контроля.

**М.1.5** КД следует проводить перед проведением контроля другими методами (ультразвуковым, магнитопорошковым). В случае проведения капиллярного контроля после магнитопорошкового, объект подлежит размагничиванию.

**М.1.6** При проведении КД применяют дефектоскопические материалы и образцы в соответствии с СТБ 1172. Дефектоскопические материалы должны пройти входной контроль с оформлением акта или записью в журнале.

**М.1.7** КД выполняется при окружающих условиях и состоянии поверхности контролируемого изделия в соответствии с требованиями инструкций по применению и паспортов на расходные дефектоскопические материалы. При этом дефектоскопические материалы следует выбирать в зависимости от температуры контролируемой детали и заданного уровня чувствительности. При температурах ниже 10 °С и выше 50 °С применяются специализированные наборы дефектоскопических материалов и соответствующие методики контроля.

**М.1.8** КД выполняется при шероховатости поверхности контроля не хуже  $R_z = 20$  мкм, так как при более грубой поверхности большинство из известных дефектоскопических материалов удаляются плохо и оставляют фон, мешающий расшифровке результатов контроля.

**М.1.9** Допускается применение ДМ специально разработанных для контроля более грубых поверхностей с шероховатостью до  $R_z = 40$  мкм.

**М.1.10** В зависимости от ширины раскрытия минимальной из выявляемых единичных трещин СТБ 1172, установлены три уровня чувствительности, определяемые средним раскрытием неразветвленной трещины длиной не менее 3 мм, которые указаны в таблице М.1.

Таблица М.1

| Уровень чувствительности | Минимальная ширина раскрытия выявляемых несплошностей при использовании заданного набора дефектоскопических материалов, мкм |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                        | 10 – 500                                                                                                                    |
| 2                        | От 1 до 10                                                                                                                  |
| 3                        | Менее 1                                                                                                                     |

**М.1.11** Чувствительность контроля, соответствующая определенному уровню, обеспечивается применением конкретных наборов дефектоскопических материалов, в зависимости от заданного уровня чувствительности и температуры окружающей среды при соблюдении технологической последовательности операций контроля, требований к подготовке поверхности, освещенностью контролируемой поверхности.

**М.1.12** Для контроля корпусных деталей турбин должен быть обеспечен уровень чувствительности 2.

**М.1.13** Процесс КД состоит из следующих технологических операций:

- проверка дефектоскопических материалов перед контролем на образце контроля чувствительности;
- визуальный контроль подготовленной поверхности;
- очистка от загрязнений, обезжиривание;
- нанесение проявителя (если это требует технология);
- очистка (если наносился проявитель);
- нанесение пенетранта;
- очистка, если требует технология - гашение фона;
- нанесение проявителя;
- осмотр.

**М.1.14** Индикаторные следы при контроле капиллярным методом при наличии дефектов на контролируемой поверхности подразделяются на две группы: протяженные и округлые.

**М.1.15** Протяженный индикаторный след (линейная индикация) характеризуется отношением длины к ширине больше трех (трещины, закаты и т.д.).

**М.1.16** Округлый индикаторный след характеризуется отношением длины к ширине, равным или менее трех.

**М.1.17** Технология КД требует больших затрат времени: цикл выдержки при контроле, начиная от подготовки поверхности (обезжиривание и первичное нанесение проявителя) до начала первого осмотра (не считая затрат времени на сами операции), колеблется от 30 мин до 1 часа в зависимости от применяемых растворов и технологии.

**М.1.18** Нанесение растворов на контролируемую поверхность обычно проводится распылением, что позволяет экономно расходовать растворы, и, что главное, равномерно распылять растворы по контролируемой поверхности. При этом газ - транспортер не должен содержать агрессивных включений и масел. Это ограничивает применение воздушных компрессоров и отдает предпочтение растворам в аэрозольных баллонах.

**М.1.19** Нанесение пенетрантов рекомендуется кистью.

**М.1.20** КД выполняется по технологическим картам на контроль, которые должны отвечать требованиям СТБ 1172.

## **М.2 Магнитопорошковый контроль**

**М.2.1** МПД предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных несплошностей металла (трещин, закатов, флокенов и т.п.) изделий из ферромагнитных сталей с относительной магнитной проницаемостью не менее 40.

**М.2.2** Чувствительность магнитопорошкового метода определяется следующими характеристиками:

- магнитной индукцией стали  $B$ ;
- остаточной магнитной индукцией стали  $B_r$ ;
- коэрцитивной силой стали  $H_c$ ; шероховатостью контролируемой поверхности;
- формой и размером контролируемого объекта;
- напряженностью намагничивающего поля;
- толщиной немагнитных покрытий;
- ориентацией намагничивающего поля по отношению к плоскости несплошности металла;
- качеством дефектоскопических средств;
- освещенностью контролируемой поверхности.

**М.2.3** В зависимости от размеров выявляемых поверхностных несплошностей ГОСТ 21105 устанавливаются три условных уровня чувствительности, определяемых минимальной шириной и протяженностью условного дефекта, которые приведены в таблице М.2.

**М.2.4** Необходимость и объем МПД, а также нормы оценки качества и уровень чувствительности контроля конкретных изделий устанавливаются в отраслевой нормативно-технической документации на контроль изделий. Контроль корпусов турбин следует проводить на уровне чувствительности «Б».

Таблица М.2

| Условный уровень чувствительности | Минимальная ширина раскрытия условного дефекта, мкм | Минимальная протяженность условного дефекта, мм | Шероховатость контролируемой поверхности |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| А                                 | 2                                                   | 0,5                                             | $R_a \leq 2,5$ мкм                       |
| Б                                 | 10                                                  |                                                 | $R_a \leq 10,0$ мкм                      |
| В                                 | 25                                                  |                                                 | $R_a \leq 10,0$ мкм                      |

**М.2.5** Магнитопорошковый контроль следует проводить по технологическим картам контроля.

**М.2.6** Для контроля магнитопорошковым методом необходимо использовать следующую аппаратуру:

- универсальные (стационарные, передвижные, переносные) и специализированные магнитопорошковые дефектоскопы;
- источники освещения контролируемой поверхности;
- приборы для измерения величины напряженности намагничивающего поля и (или) тока с погрешностью измерения не более 10%, концентрации магнитной суспензии, освещенности контролируемой поверхности;
- размагничивающие устройства и приборы для оценки уровня размагниченности;
- контрольные образцы;
- другую вспомогательную аппаратуру и средства контроля.

**М.2.7** Дефектоскопы, в которых намагничивание изделий осуществляется переменным, выпрямленным или импульсным токами, при контроле способом остаточной намагниченности должны обеспечивать выключение тока в момент времени, при котором значение остаточной индукции составляет не менее 0,9 ее максимального значения для данного материала при выбранном режиме.

**М.2.8** Дефектоскопы общего назначения должны обеспечивать возможность размагничивания объектов контроля.

**М.2.9** Измерительные приборы, применяемые при контроле, подлежат периодической поверке службами метрологии и стандартизации.

**М.2.10** В качестве индикаторов несплошностей при магнитопорошковой дефектоскопии использовать черные, цветные или люминесцентные магнитные порошки или их приготовленные или серийно выпускаемые суспензии в аэрозольных баллонах со следующим диапазоном зернистости:

- для суспензии - не более 50 мкм;
- для сухого способа - не более 150 мкм.

**М.2.11** Каждая партия материалов для дефектоскопии должна быть проконтролирована.

Допускается входной контроль качества (выявляющей способности) магнитных порошков проводить с помощью анализатора концентрации суспензии.

**М.2.12** При приготовлении магнитной суспензии содержание черного или цветного порошков в дисперсной среде должно соответствовать рекомендации

производителя порошка, указанной в руководстве по его применению. В случае отсутствия рекомендации производителя содержание черного магнитного порошка в одном литре дисперсной среды должно составлять  $(25 \pm 5)$  г.

**М.2.13** В качестве дисперсной среды для приготовления магнитных суспензий применяется вода.

В состав водных суспензий должны входить поверхностно - активные, антикоррозионные и антивспенивающие компоненты.

**М.2.14** Вязкость дисперсной среды суспензии не должна превышать  $36 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (36 сСт) при температуре контроля. При вязкости носителя выше  $10 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с (10 сСт) в производственно-технической документации должно быть указано время стекания основной массы суспензии, после которого допустим осмотр изделия.

**М.2.15** Водную магнитную суспензию необходимо оберегать от масла, которое вызывает коагуляцию магнитного порошка, что снижает ее чувствительность к выявлению несплошностей.

**М.2.16** Концентрация магнитной суспензии перед проведением контроля должна проверяться на контрольном образце с несплошностями, удовлетворяющими заданному уровню чувствительности контроля.

**М.2.1.7** Допускается в качестве дефектоскопических материалов применять пасты магнитные для приготовления суспензии. Пасты содержат все необходимые компоненты, в т. ч. антикоагулянты и при размешивании в воде образуют готовую к применению суспензию.

**М.2.18** Перед проведением МПД необходимо:

- подготовить поверхность и оценить ее пригодность к контролю;
- проверить работоспособность дефектоскопа;
- проверить качество дефектоскопических материалов.

**М.2.19** Поверхность, подлежащая контролю, должна быть очищена от загрязнений.

**М.2.20** Выявленные при визуальном контроле дефекты должны быть устранены до проведения МПД.

Шероховатость контролируемой поверхности должна соответствовать значениям, указанным в таблице М.2.

**М.2.21** МПД допускается проводить на объектах после нанесения немагнитного покрытия (например, окраски), если толщина покрытия не превышает 20 мкм.

**М.2.22** Поверхность, подлежащая контролю и имеющая следы масла или жиросодержащих суспензий обезжиривается, если контроль проводится с использованием водной магнитной суспензии, и дополнительно просушивается, если контроль проводится сухим способом. При необходимости (например, для объекта контроля с темной поверхностью) наносится контрастное покрытие.

**М.2.23** Проверка работоспособности дефектоскопов и качества ДМ осуществляется с помощью измерителей напряженности поля и (или) тока, контрольных образцов и приборов для измерения концентрации суспензии.

**М.2.24** При проведении МПД необходимо выполнять следующие операции:

## СТП XXXX.XX.430-XX

- выбор способа и режима контроля;
- намагничивание объекта контроля;
- нанесение магнитного индикатора;
- оценку результатов контроля;
- отметку дефектного места;
- размагничивание объекта контроля (при необходимости).

**М.2.25** Выбор способа и режима МПД проводить в зависимости от магнитных свойств контролируемого металла и требуемой чувствительности. Магнитопорошковый контроль допускается осуществлять способом остаточной намагниченности и (или) способом приложенного поля.

**М.2.26** Для оценки возможности применения способа остаточной намагниченности следует пользоваться графиком определения способа контроля, приведенным в ГОСТ 21105.

**М.2.27** При невозможности использования способа остаточной намагниченности и при необходимости проведения контроля с более высоким уровнем чувствительности следует применять способ приложенного поля.

**М.2.28** Значения напряженности поля насыщения марок стали приведены в таблице М.3.

**Таблица М.3**

| Марка стали | Остаточная индукция,<br>$B_r$ , Т | Коэрцитивная сила,<br>$H_c$ , А/см | Поле насыщения,<br>$H_{нас}$ , А/с |
|-------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 15Х1М1ФЛ    | 1,4                               | 5,3                                | 80                                 |
| 12ХМ        | 1,6                               | 3,6                                | 50                                 |
| 20ХМ        | 1,2                               | 5,3                                | 50                                 |
| 20ХМФА      | 1,3                               | 6,4                                | 60                                 |

**М.2.29** Для контроля материалов, коэрцитивная сила которых  $H_c > 10$  А/см и остаточная магнитная индукция  $B_r > 0,5$  Т, допускается применение обоих способов.

**М.2.29.1** При контроле способом приложенного поля напряженность магнитного поля, необходимую для обеспечения требуемого уровня чувствительности, следует определять исходя из коэрцитивной силы  $H_c$  материала объекта контроля по кривым, соответствующим условным уровням чувствительности (ГОСТ 21105) или рассчитывать по формулам:  $(42,0 + 1,3) H_c$ ;  $(20,0 + 1,1) H_c$ ;  $(15,0 + 1,1) H_c$  соответственно.

**М.2.29.2** Значения напряженности магнитного поля допускается уточнять экспериментально.

**М.2.29.3** Намагничивание контролируемого объекта допускается проводить циркулярным продольным (полюсным) или комбинированным видами с использованием переменного, выпрямленного и импульсного тока или магнитного поля. Виды, способы и схемы намагничивания приведены в ГОСТ 21105.

**М.2.30** С целью исключения пропуска несплошности в местах стыковки контролируемых участков каждый последующий намагничиваемый участок должен перекрывать предыдущий на ширину не менее 30 мм.

**М.2.31** При контроле изделий в продольном магнитном поле в разомкнутой магнитной цепи необходимо учитывать влияние на чувствительность контроля размагничивающего фактора, связанного с формой изделия.

**М.2.32** Контроль корпусов турбин следует выполнять способом приложенного поля, так как материал корпусов относится к магнитомягким материалам. Намагничивание применять циркулярное или полюсное.

**М.2.33** Циркулярное намагничивание проводится пропусканием через контролируемое изделие постоянного, переменного или импульсного тока.

**М.2.34** При протекании тока имеет место цепь из одного витка, что требует очень больших токов (от 1110 до 1200 А - для переменного и до 600 А - для постоянного токов). Источники тока крупногабаритные, тяжелые аппараты. В местах подключения (прижатия) электродов к контролируемому объекту очень часто возникают прижоги, вызывающие локальные растрескивания. После такого контроля необходима зашлифовка мест электрического контакта.

**М.2.35** Намагничивание следует проводить с шагом 200х200 мм. Каждая площадка намагничивается в двух взаимоперпендикулярных направлениях. Наиболее четко выявляются дефекты, ориентированные вдоль линии пропускания тока. В процессе контроля следует контролировать ток намагничивания. Криволинейные поверхности не препятствуют качественному проведению контроля. Физическая трудоемкость и электрическая опасность требует выполнения работ звеном из трех человек (один выполняет функцию наблюдающего).

**М.2.36** Полюсное намагничивание обычно выполняется переменным или постоянным электромагнитом. Для обеспечения высокой чувствительности необходимо снижать магнитные потери за счет зазора между изделием и полюсным наконечником. В этой связи следует применять магниты с шарнирными (подвижными) магнитопроводами и профильными полюсными наконечниками по форме контролируемого объекта. Допускается полюсные наконечники выполнять в виде подпружиненных стержней, которые при прижиге магнита принимают форму поверхности.

**М.2.37** Намагничивание каждого участка необходимо выполнять в двух взаимоперпендикулярных направлениях.

**М.2.38** Допускается применение электромагнита штучного, разового или собственного производства.

**М.2.39** Магнитный индикатор следует наносить на контролируемую намагниченную поверхность мокрым способом в виде суспензии или аэрозольным способом из аэрозольных баллонов.

**М.2.40** Магнитный индикатор при контроле способом приложенного магнитного поля следует наносить на контролируемую поверхность одновременно с намагничиванием объекта контроля. Намагничивание прекращать после стекания с контролируемой поверхности основной массы суспензии. Осмотр контролируемой поверхности проводить после прекращения намагничивания.

**М.2.41** При контроле способом остаточной намагниченности магнитный индикатор наносить на контролируемую поверхность после снятия

## **СТП XXXX.XX.430-XX**

намагничивающего поля, но не позднее, чем через 1 ч. Осмотр контролируемой поверхности проводить после стекания основной массы суспензии.

**М.2.42** Результаты контроля оценивать по наличию на контролируемой поверхности индикаторного следа в виде четкого плотного валика магнитного порошка, видимого невооруженным глазом или с использованием лупы до семикратного увеличения. При этом длина индикаторного следа линейной несплошности равна протяженности выявленной несплошности.

**М.2.43** Освещенность контролируемой поверхности при использовании черных и цветных магнитных порошков должна быть не менее 1000 лк.

**М.2.44** К ложным индикаторным следам следует относить:

- индикации, вызванные контактом с другим ферромагнитным материалом или магнитом, исчезающие после размагничивания;
- размытые нечеткие индикации, вызванные местными изменениями магнитных свойств металла;
- индикации в виде широких групп мелких и параллельных осадений порошка, вызванные избыточным намагничивающим полем.

### **М.3 Вихретоковый контроль**

**М.3.1** Метод вихревых токов (далее - ВТК) неразрушающего контроля основан на возбуждении вихревых токов в поверхностном электропроводящем слое объекта контроля и регистрации изменений электромагнитного поля вихревых токов, вызванных наличием дефектов в изделии.

Метод предназначен для выявления трещин усталости, металлургических, термических, шлифовочных трещин и других несплошностей (расслоения, закаты, плены, раковины и т.д.) в поверхностных слоях изделий из немагнитных и ферромагнитных материалов и сплавов, в том числе и для выявления дефектов, расположенных под неэлектропроводящим покрытием.

Особенность данного метода состоит в том, что на сигналы практически не влияет влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения и незначительное загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами.

**М.3.2** ВТК позволяет контролировать изделия различных конфигураций, размеров и форм.

**М.3.3** Величина минимального дефекта, который может быть выявлен данным методом, определяется:

- чувствительностью применяемого дефектоскопа;
- характером дефекта;
- характеристиками контролируемого изделия;
- условиями контроля.

**М.3.3.1** Основным показателем ВТК дефектоскопов, характеризующих их возможности, является чувствительность, т. е. способность выявлять дефекты определенных размеров. Размеры дефектов определяются их глубиной, протяженностью (длиной), раскрытием.

**М.3.3.2** Выявляемость дефекта, при прочих равных условиях, зависит от его типа. Наилучшим образом выявляются дефекты типа усталостных трещин, ориентированные перпендикулярно контролируемой поверхности.

Заполнение полости дефекта грязью, нагаром, неэлектропроводящими окислами и т.п. не приводят к снижению их выявляемости.

**М.3.4** ВТК проводится по технологическим картам контроля.

**М.3.5** Для ВТК используются стационарные, передвижные и переносные дефектоскопы.

**М.3.6** Преобразователи к дефектоскопам конструктивно выполняются в виде катушек индуктивностей, устанавливаемых в специальные оправки, размеры и форма которых выбираются в зависимости от конфигурации контролируемых участков изделий.

**М.3.7** Для контроля сложных форм следует применять специальные преобразователи, которые должны быть опробованы в реальных условиях контроля.

**М.3.8** В дефектоскопах должны быть использованы три вида сигнализации в различных комбинациях: аналоговая (стрелочная, электрон но-лучевая) или цифровая (комплексная плоскость), пороговая (звуковая, световая) и звуковая переменнo-тональная.

**М.3.9** Для отображения аналоговой сигнализации допускается использовать стрелочный индикатор, отклонение стрелки которого находится в зависимости от параметров выявляемых дефектов, или электронно-лучевая трубка, или комплексная плоскость, по виду фигур на экране которой судят о характере и параметрах дефекта.

Для улучшения состояния сигнал-помеха может быть использована звуковая переменнo-тональная сигнализация.

**М.3.10** При проведении контроля следует использовать:

- вихретоковые дефектоскопы с преобразователями и кабелями;
- образцы.

**М.3.11** Для выполнения контроля и испытаний применяются только пригодные к эксплуатации приборы, контрольные и стандартные образцы: прошедшие поверку (калибровку) или метрологическую аттестацию и имеющие подтверждающие документы (свидетельства о поверке (калибровке), клейма) и использующиеся только в течение срока действия этих документов.

**М.3.12** Для проверки пороговой чувствительности дефектоскопов, дефектоскопических установок должны применяться первичные контрольные образцы с искусственными или естественными дефектами, размеры которых соответствуют пороговой чувствительности.

Первичные контрольные образцы должны быть изготовлены из материала с теми же электромагнитными свойствами и иметь то же качество поверхности, что и контролируемое изделие.

**М.3.13** Вторичные контрольные образцы служат для разработки методики контроля, проверки работоспособности и настройки дефектоскопа. Они должны

иметь дефекты, характеризующие предел реальной чувствительности дефектоскопа в конкретном случае контроля.

В качестве вторичных контрольных образцов допускается применение детали или участков деталей, имеющих характерные дефекты, выявленные ранее любыми другими методами.

При отсутствии дефектных деталей в качестве вторичных контрольных образцов следует применять образцы с искусственными дефектами, выполненными по специальной методике.

При этом следует учитывать, что искусственные дефекты типа прорези выявляются хуже, чем естественные дефекты с теми же параметрами.

**М.3.14** Перед проведением контроля поверхность контролируемого изделия в зоне перемещения преобразователя должна быть очищена.

Допускается проведение контроля по необработанной поверхности изделия при условии достижения заданной чувствительности (порогового уровня).

**М.3.15** Сканирование в процессе контроля следует осуществлять перпендикулярно предполагаемому направлению развития дефекта. При невозможности осуществления такого сканирования допускается проводить контроль путем сканирования под углом к направлению предполагаемого дефекта. Шаг сканирования следует выбирать с учетом требуемой чувствительности контроля и направления сканирования преобразователя относительно возможного направления сканирования преобразователя относительно возможного направления развития предполагаемого дефекта, а также при необходимости выявления минимальных по длине дефектов, шаг сканирования не должен превышать половины длины дефекта, выявляемого при настройке дефектоскопа на вторичном образце. При контроле деталей сложной конфигурации, а также в случае особо трудных условий контроля шаг сканирования выбирается минимально возможным.

**М.3.16** Максимально допустимая скорость контроля зависит от типа используемого дефектоскопа. Скорость контроля с помощью дефектоскопов, имеющих только стрелочную индикацию дефекта, не должна превышать 5 мм/с, имеющих звуковую пороговую сигнализацию или световую безинерционную сигнализацию, позволяет увеличивать скорость контроля от 10 мм/с до 20 мм/с. При применении дефектоскопов, имеющих сигнализацию с регистрацией в память прибора, скорость контроля ограничивается частотой обновления экрана и частотой следования сигналов.

**М.3.17** Краевой зоной считаются участки контролируемой поверхности шириной от 1 до 1,5 эффективных диаметра преобразователя, прилегающие к краям контролируемой детали. Приближение преобразователя в процессе контроля к краевой зоне, а также изменение расстояния между преобразователем и краями детали и т.п. вызывает краевой эффект и смещения на комплексной плоскости.

**М.3.18** Контроль краевой зоны детали должен проводиться путем перемещения преобразователя вдоль края при сохранении постоянства расстояния от центра преобразователя до края, используя специальные упоры и насадки на преобразователь.

При необходимости выявления в краевой зоне дефектов минимальных размеров расстояние центра преобразователя от края в процессе контроля должно быть равным 0,5 эффективного диаметра преобразователя.

**М.3.19** Настройка дефектоскопа для контроля краевой зоны должна осуществляться при установке преобразователя на том же расстоянии от края, при котором будет проводиться контроль. При необходимости проведения контроля на разных расстояниях от края его нужно осуществлять последовательно при различных настройках.

Проверка правильности выбора места настройки (бездефектности выбранного места) должна проводиться путем смещения преобразователя только в одном направлении - вдоль края.

**М.3.20** О нахождении дефекта непосредственно в зоне влияния преобразователя, когда сигнал превышает или равен заданному порогу чувствительности прибора, свидетельствуют следующие признаки:

- скачкообразное увеличение показаний стрелочного индикатора с последующим возвратом в первоначальное положение или изменению фигуры на экране электронно-лучевой трубки;
- кратковременное (или с заданным временем задержки) загорание светового индикатора;
- кратковременное возникновение звукового сигнала (в дефектоскопах с пороговой сигнализацией);
- скачкообразное изменение тона звукового сигнала (в дефектоскопах с переменнотональной сигнализацией);
- отклонение индикатора на комплексной плоскости в фазе зоны индикации дефекта.

**М.3.21** В дефектоскопах, имеющих несколько видов сигнализации, наличие дефекта должно вызывать их одновременное срабатывание.

Максимальная реакция систем сигнализации на дефект будет наблюдаться в момент, когда он полностью пересекает зону влияния преобразователя.

**М.3.22** Характер срабатывания сигнализации зависит от угла встречи преобразователя с направлением развития дефекта. Если траектория движения преобразователя при сканировании изделия совпадает с направлением развития дефекта, то продолжительность срабатывания аналоговой системы индикации (при выбранной скорости перемещения преобразователя) будет определяться длиной трещины, а угол отклонения стрелки - ее глубиной. Если траектория движения преобразователя будет перпендикулярна направлению развития трещины, то продолжительность срабатывания аналоговой системы индикации будет зависеть от эффективности диаметра преобразователя. Продолжительность срабатывания пороговой сигнализации будет определяться также выбранным уровнем порога чувствительности.

**М.3.23** При перемещении преобразователя вдоль предполагаемого дефекта признаком его наличия является резкое срабатывание всех видов сигнализации в момент попадания начала дефекта в зону влияния преобразователя.

**М.3.24** Плавное увеличение показаний стрелочного индикатора или изменение фигуры на комплексной плоскости, а также изменение тона звуковой переменного - тональной сигнализации не следует воспринимать признаком дефекта, так как свидетельствует о наличии зон структурной или магнитной неоднородности, об изменении толщины стенки, конфигурации изделия и т.п. В этих случаях о наличии дефекта можно судить по скачкообразному изменению тона переменного-тональной звуковой сигнализации, что позволяет выявлять дефект даже при наличии мешающих факторов, приводящих к значительному отклонению стрелки индикатора, перемене фигуры и срабатыванию системы пороговой сигнализации.

**М.3.25** Если контроль проводился с применением преобразователя большого диаметра, то определение границ распространения трещины должно уточняться датчиком с минимальным размером преобразователя.

**М.3.26** При определении протяженности выявленного дефекта следует учитывать, что дефект начинает влиять на преобразователь, когда его начало или конец находятся на расстоянии, равном половине эффективного диаметра преобразователя. Поэтому для определения протяженности дефекта необходимо установить преобразователь в положение, при котором сигнализация дефектоскопа фиксирует начало дефекта и перемещая его «змейкой» вдоль дефекта, определить положение преобразователя, соответствующее окончанию дефекта. Расстояние между этими двумя положениями преобразователя, определенное по его центру, и является протяженностью дефекта.

**М.3.27** Так как чувствительность электромагнитных дефектоскопов ограничена (не выявляют дефекты глубиной 0,05 мм и менее), а конец трещины имеет малую глубину и может быть не выявлен дефектоскопом, то при различных технологических операциях по выявлению дефектов необходимо протяженность, измеренную с помощью дефектоскопа, несколько увеличить.

**М.3.28** Если протяженность трещины определяется под слоем покрытия, то для более точного определения ее протяженности покрытие должно быть снято и настройка прибора проведена на участке без покрытия.

#### **М.4 Рекомендации по выбору метода контроля корпусов турбин**

Все описанные три метода позволяют обнаруживать трещины в корпусах турбин на одинаковом уровне чувствительности.

**М.4.1** Метод КД трудоемкий, но позволяет выполнять контроль во всех пространственных положениях. При контроле больших площадей применение метода эффективно. Метод практически не дает ложных индикаций, чувствительность метода в значительной степени зависит от шероховатости поверхности вплоть до невозможности вести контроль на грубо обработанной поверхности. Для выполнения работ требуются расходные материалы. Метод выявляет поверхностные дефекты в любых металлах, пластмассах, фарфоре, и т.д.

**М.4.2** Метод МПД менее трудоемок, высокопроизводителен, выявляет дефекты как поверхностные, так и подповерхностные. Чувствительность метода

зависит от шероховатости контролируемой поверхности, но в меньшей степени, чем КД. Для выполнения работ требуются расходные материалы. Метод применим только для контроля ферромагнитных сталей.

**М.4.3** Метод ВТК прост. Производительность уступает МПД, но компенсируется более низкими требованиями к качеству поверхности. Метод позволяет контролировать поверхности в любом пространственном положении.

energodoc.by

## Приложение Н

### Измерение глубины трещин в корпусах турбин

#### Н.1 Физические методы

##### Н.1.1 Измерение с помощью ультразвука

###### Н.1.1.1 Головные волны

Головные или боковые (подповерхностные) волны образуются при углах ввода близких к первому критическому углу и характерны тем, что распространяются прямолинейно в слое толщиной от 15 до 20 мм, не всходя на поверхность изделия. При этом рельеф изделия не оказывает на них влияние. Затухание волн незначительное.

Принцип измерения заключается в том, что специальный преобразователь (излучатель) излучает головную волну в направлении трещины. Волна принимается другим специальным преобразователем (приемником), ориентированным навстречу излучателю. Если трещины на пути волны нет, то принятый сигнал имеет некоторое максимально-возможное для данного случая значение.

При наличии трещины сигнал уменьшается пропорционально глубине трещины. Когда глубина трещины превышает толщину слоя, в котором распространяется волна, дальнейшие измерения невозможны.

Метод позволяет измерять глубину трещин от 2 мм до 15 мм, что определяется размерами пьезопластин и углами ввода.

Прием позволяет эффективно вести измерения на плоских поверхностях. На криволинейных поверхностях (радиусных переходах) таким способом затруднительно выполнять измерения, а при резких закруглениях - невозможно. Во всех случаях перед измерениями следует составить схему прозвучивания и определить возможность выполнения измерений.

###### Н.1.1.2 Поверхностные волны.

Глубокие, более 10 мм, трещины можно измерить с помощью специальных преобразователей, излучающих поверхностные УЗ - волны вдоль трещины. Волна распространяется вдоль трещины до ее конца и возвращается в преобразователь. Измерив время распространения волны и зная ее скорость в материале отливки, легко определить глубину трещины.

###### Н.1.1.3 Волны дифракции

Метод позволяет измерять трещины глубиной 2 мм и более за счет излучения вершиной трещин волн дифракции, которые возникают при облучении вершины трещины. Реализуется метод путем облучения вершины трещины наклонным преобразователем и приема дифрагированной волны прямым (нормальным) или наклонным преобразователем. После построения схемы прозвучивания по результатам измерений графически рассчитывается расстояние до вершины трещины, а зная толщину изделия в месте контроля, можно определить и глубину трещины.

Возможность применения метода следует оценивать по анализу конкретных условий: конфигурации поверхности, доступности, возможности зачистки.

Для того чтобы применить описанный прием требуется плоская площадка над трещиной, со стороны которой можно установить преобразователи. Возможны измерения на цилиндрических поверхностях.

Существует особенность: контроль выполняется на высокой чувствительности, когда разность донных сигналов и сигнала от дифрагированной волны составляет более 12 дБ.

При выявлении трещины требуется сканировать преобразователями для получения максимума сигналов.

Перед контролем необходимо проверить преобразователи и измерить точно точки ввода, углы ввода, что необходимо для расчетов.

При малой глубине трещин от 2 до 4 мм более эффективно применение пары наклонных преобразователей, при большей глубине сочетание наклонного преобразователя (излучатель) и нормального (приемник).

Для выполнения расчетов следует измерить диаграмму направленности преобразователей и знать углы, под которыми идет максимум излучения.

При измерениях следует фиксировать положения преобразователей при максимумах эхо-сигналов.

#### **Н.1.2 Измерение электропотенциальным методом**

Электропотенциальный метод (ЭПМ) относится к электрическим методам контроля (ЭМК) и основан на регистрации падения потенциала. При приложении к металлическому телу электрического напряжения, в нем образуется электрическое поле. Если напряжение стабилизировано, то поле будет также стабильным. Геометрическое место точек с одинаковым потенциалом составляет эквипотенциальные линии. Электроды, с помощью которых создается поле, называются токовыми.

Разность потенциалов на достаточном расстоянии от токовых электродов зависит от трех факторов: электропроводимости, геометрических размеров токонесущего изделия и трещин. Особенно на это влияют трещины на поверхности. Если с помощью двух других электродов, называемых потенциальными, измерять разность потенциалов на участках, расположенных между токовыми электродами, то величина разности потенциалов будет зависеть от толщины изделия и наличия трещин.

При наличии трещин снижается площадь поперечного сечения, занятого линиями тока и изменяется разность потенциалов, по сравнению с участком, где трещин нет. Между глубиной трещин и разностью потенциалов при неизменности др. факторов (материал изделия, его форма, расстояние между электродами, величина и стабильность напряжения на токовых электродах и т.д.) существует корреляционная зависимость.

Таким образом, ЭПМ можно рекомендовать для измерения глубины трещин в корпусах турбин.

Однако, точность измерений в большой степени зависит от переходного сопротивления в месте подключения электродов, прежде всего токовых. На

точность измерения влияет соответствие формы, размеров и материала калибровочных образцов и реального изделия. Сложность при измерении глубины трещин в отливках заключается в том, что чем толще отливка, тем хуже точность измерения толщин малой глубины. На точность измерения влияет термо - Э.Д.С, возникающее между потенциальными электродами.

Определенную сложность представляют схемы измерения потенциалов: уровень измеряемого напряжения – от 30 до 100 мкВ. На точность измерения влияет зависимость расстояния между потенциальным электродом и трещиной и высотой трещины, и т.д.

Эта задача решается специалистами в области электрических методов НК.

Принципиально для измерения глубины трещин ЭПМ специальных приборов не требуется. Измерение разности потенциалов можно выполнять стандартной схемой с нуль - гальванометром. В качестве источника питания можно использовать стабилизированные низковольтные источники с током не менее 10 А. Основное в измерениях - наличие соответствующих образцов, копирующих изделие.

Из интересных решений применения ЭПМ следует отметить наблюдение за развитием трещины в процессе эксплуатации с помощью электродов, приваренных к корпусу в месте трещины и выведенных через изоляцию.

### **Н.1.3 Измерение ВТК.**

В широкой практике контроля, применяемого в энергетике, вихретоковые приборы, в основном, используются для поиска дефектов, т. е. они настраиваются в силу их схемных решений так, что при обнаружении незначительной по глубине трещины, индикатор прибора резко отклоняется, так как трещины недопустимы.

Вместе с тем, зная изменение полного сопротивления и частоту, вихретоковым методом можно определять толщину изделий и глубину трещин.

Вихретоковый метод имеет ряд преимуществ:

- контроль и измерение можно выполнять по грубо обработанной поверхности;
- малые размеры датчиков позволяют выполнять измерения на криволинейных поверхностях.

К недостаткам, ограничивающим применение, следует отнести влияние краевого эффекта.

## **Н.2 Механические методы**

**Н.2.1** Глубина трещины оценивается путём двух-трех сверлений сверлом диаметром от 12 до 16 мм в средней части зоны растрескивания.

**Н.2.2** В самых крайних случаях, при невозможности выполнения измерений никаким из физических способов, допускается оценочное и ориентировочное определение глубины трещины  $h_T$  по её протяжённости  $L_T$ . При этом принимается соотношение  $h_T = 0,2 L_T$ .

## Приложение О

### Методические указания по магнитопорошковому контролю коррозионно-поврежденных рабочих лопаток в зоне фазового перехода

Настоящие методические указания устанавливают правила проведения неразрушающего контроля рабочих лопаток паровых турбин, поврежденных коррозией в зоне фазового перехода для обнаружения коррозионно-усталостных трещин на выходных кромках. методом магнитопорошкового контроля (МПД).

#### О.1 Подготовка к контролю

**О.1.1** Перед проведением контроля проводят тщательный визуальный контроль поверхности лопаток с целью оценки их состояния, а также обнаружения трещин, забоин, коррозионных язв или следов эрозийного износа.

**О.1.2** Контролю подвергаются выходные кромки лопаток со стороны наружной поверхности. Если поверхность покрыта тонким плотным слоем налета или окалины, которые прочно сцеплены с металлом, то поверхность достаточно протереть ветошью и, при необходимости, обезжирить. Если в слое налета или окалины имеются отслоения или шероховатости поверхность зачищают мелкой шкуркой. Для контроля достаточно зачистить полосу вдоль кромки шириной 25 мм.

Если шероховатость поверхности превышает  $R_z=40$  мкм, то поверхность грунтуют нитрокрасками или лаками, цвет которых должен быть контрастным к применяемым магнитным частицам.

**О.1.3** Параметры контроля, применяемые дефектоскопические средства и аппаратура, виды намагничивания, уровни чувствительности, подготовленность специалистов, требования техники безопасности должны соответствовать ГОСТ 21105.

**О.1.4** На участке, где проводится контроль, кроме общего освещения, должно быть местное освещение с экраном, предохраняющим глаза дефектоскописта от прямого воздействия яркого света. Освещенность контролируемой поверхности должна быть не менее 1000 люкс. В труднодоступных местах следует использовать эндоскопы.

#### О.2 Проведение контроля

**О.2.1** При проведении МПД выполняют следующие технологические операции: намагничивание, нанесение магнитной суспензии, оценка результатов, отметка дефектного места на поверхности контролируемого металла, размагничивание, составление документации о результатах контроля.

**О.2.2** Контролю подвергают выходные кромки рабочих лопаток со стороны внешней (выпуклой) поверхности.

**О.2.3** Для МЦД лопаток применяют способ приложенного поля (СПП) с использованием полюсного намагничивания кромок лопаток.

**О.2.4** Напряженность магнитного поля, при которой обеспечивается надежное обнаружение дефектов, рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{пр}} = (26 \cdot 1,1 H_c), \text{ А/см},$$

где  $H_c$  - коэрцитивная сила, которая для марок сталей рабочих лопаток изменяется от 4,0 А/см до 11,1 А/см.

**О.2.5** При полюсном намагничивании могут быть использованы только те электромагниты, которые позволяют намагничивать лопатки до требуемых значений напряженности магнитного поля.

Намагничивание одним полюсом постоянного электромагнита проводят при контроле труднодоступных мест и/или при малом расстоянии между соседними лопатками. В этом случае создается высокая остаточная намагниченность, характеризующаяся локальной неоднородностью. Размагничивание лопатки проводят за несколько приемов.

При намагничивании электромагнитом переменного тока отпадает необходимость в преобразовании тока и практически не создается остаточной намагниченности. Этот же электромагнит может быть использован при размагничивании лопаток.

**О.2.6** Для МПД применяют черные магнитные суспензии на контрастном грунте, либо люминесцентные магнитные суспензии в ультрафиолете.

**О.2.7** Суспензию наносят на поверхность контролируемого участка одновременно с намагничиванием и прекращают за две, три секунды до окончания намагничивания.

**О.2.8** При намагничивании электромагнит переменного тока или постоянный электромагнит устанавливают на внешнюю поверхность выходной кромки лопатки со стороны корня лопаток. Выборка (уступ) на полюсе электромагнита делается для удобства его фиксирования на кромке и для стабилизации ширины зоны намагничивания. Поскольку поверхность лопатки в зоне кромки является практически плоской, то полюса прилегают к поверхности лопатки плотно и дополнительная притирка не требуется.

В процессе контроля магнит постепенно перемещают вдоль всей длины кромки лопатки при одновременном нанесении магнитной суспензии, осматривая зону контроля. При обнаружении валика из магнитного порошка намагничивающее устройство останавливают, стирают порошок и еще раз наносят суспензию. Если валик образуется вновь, то дефектное место отмечают и продолжают контроль.

Допускается намагничивание с помощью одного полюса, если величина намагничивающего поля соответствует значению, рассчитанным по п.п. О.2.4, и соответствует условному уровню чувствительности Б по ГОСТ 21105.

**О.2.9** Наличие дефекта определяют по обнаруженным при визуальном осмотре валикам магнитного порошка, который скапливается над

дефектом (индикаторный след). Длина индикаторного следа примерно равна протяженности обнаруженного дефекта.

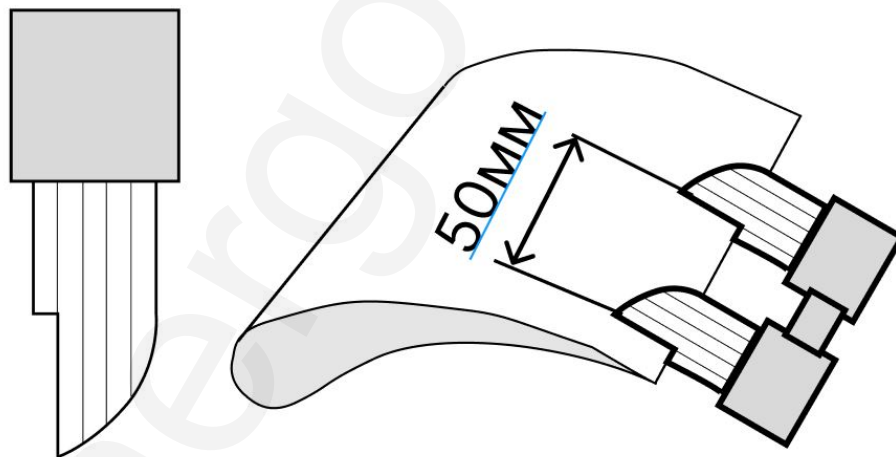
Для получения документального подтверждения дефекта следует сделать фотографию контролируемого участка или снять дефектограмму с помощью прозрачной клеящейся ленты. После высыхания магнитного порошка лента липкой стороной осторожно прижимается к валику магнитного порошка, затем снимается с поверхности и приклеивается на лист белой бумаги.

**О.2.10** Размагничивание детали производят переменным током с уменьшающейся амплитудой до 0. Размагничивание проводится по всей длине лопатки

### **О.3 Требования к изготовлению магнитопровода электромагнита переменного тока**

**О.3.1** Наконечник магнитопровода набирают из листов электротехнического железа толщиной 0,35–0,5 мм. Сечение магнитопровода 16х25 мм, высота 65 мм, расстояние между полюсами до 150 мм. Часть пластин укорачивают на 20 мм для получения уступа глубиной до 3 мм на полюсах магнитопровода (рисунок О.1).

**О.3.2** При контроле используется электромагнит, который способен создавать требуемую в соответствии с п.п. О.2.4 напряженность магнитного поля на поверхности лопатки при заданных по п.п. О.3.1 наконечниках.



**Рисунок О.1 – Общий вид наконечника электромагнита и его положения на кромке лопатки**

## Приложение II

### Исследование микроструктуры и твердости металла роторов

**II.1** Для принятия решения о продлении срока эксплуатации ротора сверх паркового ресурса или о временной эксплуатации ротора, содержащего недопустимые дефекты, следует проводить исследование микроструктуры и твердости металла.

**II.2** При отсутствии недопустимых дефектов исследование микроструктуры и измерение твердости проводятся на металле полотна или обода диска первой по ходу пара (наиболее высокотемпературной) ступени. Для сравнения измерение твердости проводится на том же радиусе на металле диска последней (наиболее низкотемпературной) ступени цельнокованой части ротора. Допускается проводить исследование микроструктуры на сколе (спиле), взятом от острой кромки паза под балансировочные грузы (где он имеется). Объем скола не должен превышать 0,2 см<sup>3</sup>.

**II.3** При выявлении недопустимых дефектов вблизи осевого канала ротора (изготовленного из сталей P2, P2MA, 34XMA) исследование микроструктуры проводится на полумуфте (на ее образующей и на торце вблизи осевого канала).

**II.4** Шлифы готовить путем трех или пятикратной механической полировки и травления. Травление шлифов проводить раствором азотной кислоты в этиловом спирте с концентрацией от 4 до 6%. Качество протравленного шлифа контролировать с помощью переносного микроскопа при увеличении не ниже 100<sup>x</sup>. Анализ микроструктуры проводить неразрушающими методами в соответствии с СТП 33240.17.102.

**II.5** При анализе микроструктуры металла высокотемпературной зоны ротора необходимо исследовать вид и степень сфероидизации второй структурной составляющей, распределение и размер карбидов, размер первичного зерна, количество структурно свободного феррита. Результаты исследования сравнивать с критериями, приведенными в 9.1.2.7, и использовать при выборе служебных свойств стали для расчета ресурса ротора.

**II.6** При анализе микроструктуры на торце ротора определять количество структурно свободного феррита и по данным исследования в двух зонах полумуфты методом экстраполяции рассчитывать его количество на поверхности осевого канала. Содержание свободного феррита вблизи поверхности осевого канала в районе бочки ротора примерно в два раза больше, чем вблизи осевого канала на полумуфте. Количество структурно свободного феррита использовать для оценки вязкости разрушения стали ( $K_{IC}$ ) и величины критического размера дефекта в металле ротора, в котором выявлены недопустимые дефекты.

**II.7** Твердость следует измерять переносными приборами в местах приготовления металлографических шлифов на дисках высоко- и низкотемпературной ступеней. Результаты измерения твердости следует усреднять не менее, чем по трем замерам для каждой зоны ротора.

**II.8** Значения твердости металла высокотемпературной ступени ротора следует сравнивать со значениями, приведенными в 9.1.2.8 настоящего стандарта.

Различие в твердости металла высоко - и низкотемпературной ступеней отражает степень разупрочнения металла высокотемпературной части ротора в процессе его длительной эксплуатации и является дополнительной характеристикой, которая должна учитываться при принятии решения о возможности дальнейшей эксплуатации ротора.

**П.9** Данные микроструктурного анализа и фотографии микроструктуры, а также результаты измерения твердости, с указанием типа твердомера и описанием процедур выполненных исследований, занести в протокол.

## Приложение Р

### Исследование структуры и свойств металла литых корпусных деталей турбин

#### Р.1 Структура и твердость

**Р.1.1** Исследование структуры литого металла необходимо проводить с целью выявления изменений, связанных с исчерпанием ресурса деталей в процессе эксплуатации, а также для определения характера образовавшихся трещин.

**Р.1.2** Характер структуры следует изучать на поперечных шлифах, изготовленных из спилов - лодочек (сколов) треугольного сечения площадью не менее 20 мм<sup>2</sup>. При исследовании характера трещин её продольная ось должна быть ориентирована вдоль лодочки. В качестве дополнения к таким сколам следует исследовать структуру на шлифах, изготовленных непосредственно на детали в наиболее напряженных зонах. При подготовке шлифов поверхностный слой металла должен сниматься на глубину не менее 2,0 мм.

**Р.1.3** В процессе микроструктурного анализа металла оценивать следующие параметры:

- величину ферритного зерна по ГОСТ 5639;
- количество (%) и вид бейнитной или перлитной составляющей;
- балл сфероидизации второй структурной составляющей по шкале СТП 33240.17.102;
- особенность распределения карбидов по границам зерен и их средний размер;
- особенность распределения карбидов в ферритной матрице и их средний размер;
- загрязненность неметаллическими включениями по ГОСТ 1778;
- количество и размер пор ползучести.

**Р.1.4** Размер пор ползучести оценивать на шлифах после трех или пятикратного травления 3 % раствором HNO<sub>3</sub> в спирте и контроль проводить при увеличении 500<sup>x</sup> не менее, чем на 10 полях зрения.

**Р.1.5** С учетом экспериментально установленного влияния поверхностного слоя литого корпуса и качества подготовки поверхности на показания переносных приборов, для получения более достоверных данных по твердости следует удалить слой металла толщиной не менее 2,0 мм. Число измерений должно зависеть от того, проведено ли снятие поверхностного слоя, а также от характера обработки поверхности. В частности, при использовании переносных приборов с относительно неглубоким внедрением шарика (менее 0,2 мм), например типа ТЭМП-1, в зависимости от качества поверхности необходимо выполнить следующее число измерений:

- тонкошлифованная поверхность - не менее 10;
- полированная – 5;
- грубошлифованная - не менее 16;
- зачистка шкуркой до полного удаления окалина - не менее 30.

## **Р.2 Механические свойства**

**Р.2.1** Образцы следует изготавливать из вырезок, эскизы которых выдает специализированная организация. Вырезки должны отбираться из зоны детали с максимальной рабочей температурой металла. При этом эскиз вырезки должен разрабатываться таким образом, чтобы не был нанесен ущерб надежности детали и не потребовалась бы дополнительная подварка в зоне отбора образцов.

В случае выборки глубоких трещин (выборка большого объема металла) для получения более достоверной информации об уровне свойств в дефектной зоне, необходимо получать сколы или вырезки сравнительно небольшого размера непосредственно из зоны образования трещины.

**Р.2.2** Типы изготавливаемых образцов для испытаний должны соответствовать государственным стандартам. Допускается изготовление образцов по стандартам специализированной организации.

## Приложение С

### Порядок определения расчетного ресурса и оценка живучести роторов и корпусных деталей турбин

#### С.1. Общие положения

**С.1.1** При расчетах ресурса цельнокованных роторов и литых корпусных деталей ЦВД и ЦСД должно проверяться удовлетворение критериев статической (кратковременной и длительной) и циклической прочности и накопленной поврежденности по расчетным напряжениям и деформациям в критических зонах, к которым относятся зоны с максимальными уровнями напряжений, температуры или наиболее частым обнаружением трещин.

**С.1.2** Для оценки ресурса роторов и корпусов следует выполнять расчеты температурных полей, полей упругих (условно упругих) и упругопластических напряжений и деформаций под действием механических (центробежные силы - для роторов; перепады давления, осевые усилия - для корпусов) и температурных нагрузок при основных эксплуатационных режимах работы турбины, а также напряжений и деформаций в условиях ползучести.

К основным эксплуатационным режимам, кроме стационарного режима с номинальной нагрузкой, относятся пуски из холодного, неостывшего (после суточного и двухсуточного простоев турбины) и горячего (после остановов на ночь) состояний, разгрузки с частичной нагрузкой и обратные увеличения нагрузки, плановые и аварийные остановки.

**С.1.3** Расчеты температурных полей, полей напряжений и деформаций в роторах и корпусных деталях следует выполнять на основе двумерных, осесимметричных и, в случае необходимости, трехмерных моделей теорий теплопроводности, упругости, пластичности и ползучести.

Допускается использование экспериментальных температурных полей, определяемых путем термометрии в натурных условиях при характерных режимах эксплуатации, в объеме, необходимом для последующего расчета полей напряжений.

**С.1.4** Для углеродистых сталей ползучесть должна учитываться при температурах, превышающих 350 °С, для низколегированных хромомолибденовых и хромоникельмолибденовых сталей - при температурах, превышающих 420 °С, для низко- и среднелегированных хромомолибденованадиевых и хромомолибденовольфрамованадиевых сталей - при температурах, превышающих 450 °С, для жаропрочных хромистых сталей - при температурах, превышающих 480 °С.

**С.1.5** Для расчета полей напряжений и деформаций с учетом ползучести следует использовать теории старения и течения (допускается использование и других, более точных теорий ползучести) и численные методы решения соответствующих двумерных, осесимметричных и, в случае необходимости, трехмерных краевых задач теории ползучести в квазистационарной постановке (для расчета полей напряжений использовать мгновенные значения

нестационарных температурных полей в моменты возникновения максимальных разностей и градиентов температуры в проверяемых зонах).

**С.1.6** Если расчет напряжений и деформаций с учетом установившейся ползучести выполняется с помощью теории старения и изохронных кривых, то учитывать только действие механических нагрузок, а температурные напряжения исключать из расчета, полагая коэффициент температурного расширения  $\alpha^0 = 0$ .

**С.1.7** В качестве эквивалентных напряжений  $\alpha^0$ , используемых в критериях статической и циклической прочности при сложном напряженном состоянии, принимать интенсивность напряжений  $\sigma_i$ , которая в случае осесимметричной задачи определяется выражением (С.1)

$$\sigma_3 = \sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + 6\tau_{rz}^2}, \quad (\text{С.1})$$

где  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_r$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{rz}$  - окружные, радиальные, осевые и касательные напряжения.

В компонентах главных напряжений выражение для  $\sigma_i$  как для осесимметричных, так и для трехмерных задач имеет вид

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (\text{С.2})$$

При использовании интенсивности напряжений для оценки циклической прочности величине  $\sigma_i$  присваивать знак, равный знаку наибольшего по абсолютной величине (в рассматриваемый момент цикла) главного нормального упругого (условно упругого) напряжения из (С.2).

**С.1.8** Допускается при оценке кратковременной и длительной статической прочности использовать в качестве эквивалентного удвоенное максимальное касательное напряжение

$$\sigma_3 = 2\tau_{\max} = \max \{(\sigma_1 - \sigma_2), (\sigma_2 - \sigma_3), (\sigma_1 - \sigma_3)\}. \quad (\text{С.3})$$

**С.1.9** В расчетах ресурса следует использовать характеристики длительной прочности, ползучести, малоциклового усталости и трещиностойкости роторных и корпусных сталей после длительной эксплуатации. Предпочтительнее уточнять эти характеристики для каждого конкретного объекта с использованием приближенных корреляционных зависимостей между этими характеристиками и данными по исследованию структуры и свойств металла, полученными в соответствии с разделом 6 настоящего стандарта, а также с учетом сертификатных данных для стали в исходном состоянии.

**С.1.10** При оценках времени живучести роторов и корпусов с дефектами используются константы кинетических уравнений скорости роста трещин под действием циклических нагрузок и ползучести для роторных и корпусных сталей при расчетной температуре металла на установившемся режиме работы турбины с номинальной мощностью, а значения критического коэффициента интенсивности напряжений - вязкости разрушения  $K_{Ic}$ , принимать при температуре металла в зоне дефекта в момент пуска турбины из холодного состояния, соответствующей максимальной вероятности хрупкого разрушения детали. Для корпусных деталей необходимо также проверять возможность хрупкого разрушения и на остальных переменных режимах.

## **С.2 Расчетные оценки суммарной и среднегодовой поврежденностей, накапливаемых до и после проведения анализа возможности продления срока службы**

**С.2.1** Суммарная поврежденность  $\Pi'$ , накопленная в металле до начала анализа возможности продления срока эксплуатации роторов и корпусов, работающих в условиях совместного действия ползучести при различных установившихся режимах  $q'$  типов и циклических нагрузок при различных переменных режимах  $k'$  типов, а также соответствующая поврежденность с учетом запасов (по напряжениям, деформациям, циклам и поврежденности)  $[\Pi]'$ , должна определяться формулами (С.4), (С.5)

$$\Pi' = \Pi'_{ст} + \Pi'_{ц} = \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}}; \quad (C.4)$$

$$[\Pi]' = \max \left\{ \left( [\Pi'_{ст}]' + [\Pi'_{ц}]' \right), n_{\Pi} \Pi' \right\} = \max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{[t_p]_j} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{[N_p]_l}, n_{\Pi} \Pi' \right) \right\}, \quad (C.5)$$

где  $\Pi'_{ст}$ ,  $[\Pi'_{ст}]'$ ,  $\Pi'_{ц}$ ,  $[\Pi'_{ц}]'$  - статическая и циклическая поврежденности без учета и с учетом запасов, накопленные в проверяемой зоне ротора или корпуса до начала анализа возможности продления срока службы;  
 $t'_j$  - время работы на  $j$ -м установившемся режиме при температуре металла  $\theta'_j$  и эквивалентных местных напряжениях ползучести  $(\sigma'_{\theta j})^c_{\max}$  в проверяемой зоне ротора или корпуса (с учетом концентрации);  
 $t'_{pj}$  - время до наступления предельного состояния (появления трещин ползучести в проверяемой зоне) под действием эквивалентных напряжений  $(\sigma'_{\theta j})^c_{\max}$  при температурах  $\theta'_j$ , определяемое с помощью соответствующей диаграммы длительной прочности материала (или аппроксимирующих ее аналитических выражений);

$[t_p]_j''$  - допускаемое по условиям длительной прочности материала время работы на  $j$ -м установившемся режиме, определяемое с помощью той же диаграммы длительной прочности, что и  $t'_{pj}$ , но по эквивалентным напряжениям  $n_{дл}^* (\sigma'_{эj})_{\max}^c$ , увеличенным в соответствии с принятым коэффициентом запаса длительной прочности  $n_{дл}^*$  для местных напряжений ползучести, где  $n_{дл}^* = 0,9n_{дл}$ , а  $n_{дл}$  - коэффициент запаса от длительной прочности для номинальных напряжений ползучести; для роторов  $n_{дл}$  должно приниматься в соответствии с С.5.8.2, а для корпусов  $n_{дл} = n'_{дл} = 1,5$  в соответствии с требованиями С.6.9.2;

$n'_l$  - число циклов  $l$ -го типа;

$N'_{pl}$  - число циклов до появления усталостных трещин под воздействием только циклических нагрузок  $l$ -го типа;

$[N_p]'_l$  - допускаемое число циклов при воздействии только циклических нагрузок  $l$ -го типа, определяемое в соответствии с требованиями 2.3;

$n''_{\Pi}$  - запас по накапливаемой поврежденности, принимаемый в соответствии с требованиями С.5.8.6 и С.6.10.6 для предшествующего анализу периода эксплуатации;

$q'$  - число различных типов установившихся режимов, имевших место за период до начала анализа, каждый из которых характеризуется температурой  $\theta'_j$  и установившимися эквивалентными местными напряжениями ползучести  $(\sigma'_{эj})_{\max}^c$ ;

$k'$  - число различных типов циклов, имевших место за период до начала анализа, каждый из которых характеризуется своим размахом приведенных напряжений  $\Delta\sigma'_i$  или соответствующей амплитудой деформаций  $\varepsilon'_{dl}$ .

Штрихом отмечены все величины, относящиеся к периоду эксплуатации, предшествующему началу анализа.

**С.2.2** При расчете накопленной к началу анализа возможности продления срока службы статической поврежденности  $l'_{ст}$  и соответствующей ей статической поврежденности с учетом запасов  $[l_{ст}]'$  допускается разбивать всю наработку за этот период на годовые интервалы.

В этом случае  $j$ -й установившийся режим - это среднегодовой режим эксплуатации;  $q'$  - число годовых интервалов, т.е. число лет эксплуатации до начала анализа, а в качестве  $\theta'_j$  принимается температура металла, соответствующая среднегодовой температуре пара  $\theta'_{j\text{год}}$  по данным электростанции;  $t'_j$  - наработка при этой температуре за один  $j$ -й год;  $t'_{pj}$  и  $[t_p]''_j$  - времена до наступления предельного состояния под действием среднегодовых эквивалентных напряжений ползучести  $(\sigma'_{эj})_{\max}^c$  и  $n_{дл}^* (\sigma'_{эj})_{\max}^c$  соответственно, определяемые по диаграммам длительной прочности для каждого  $j$ -го года эксплуатации в соответствии с изменявшимися в

этом году, по сравнению с другими годами, условиями эксплуатации (если в течение нескольких лет среднегодовые условия не менялись, эти годы объединяются в один временной интервал).

Величину  $\theta'_j$  для металла с учетом возможных отклонений среднегодовой температуры пара  $\theta'_{\text{год}}$  от номинальной определять по формуле (С.6)

$$\theta'_j = \theta'_{\text{год}} - (\theta_{\text{пар}}^{\text{H}} - \theta_{\text{м}}^{\text{H}}), \quad (\text{С.6})$$

где  $\theta_{\text{пар}}^{\text{H}}$  - номинальная температура пара;

$\theta_{\text{м}}^{\text{H}}$  - температура металла в рассматриваемой зоне ротора или корпуса на установившемся номинальном режиме, соответствующая номинальной температуре пара.

**С.2.3** Допускаемое число циклов изменения нагрузок на роторы или корпуса  $[N]_l$  (каждого  $l$ -го из рассматриваемых типов циклических нагрузок) определять через число циклов данного типа  $N_{pl}$  до появления трещины малоциклового усталости (МЦУ) следующим образом

$$[N]_l = \min \{N_{1l}, N_{2l}\}, \quad (\text{С.7})$$

где  $N_{1l} = N_{pl}/n_N$  - число циклов до появления трещин МЦУ, соответствующее приведенной к симметричному изотермическому циклу амплитуде интенсивности деформаций  $\varepsilon_{dl}$ , деленной на коэффициент запаса  $n_N$ ;

$N_{2l}$  - число циклов до появления трещин МЦУ, соответствующее увеличенной амплитуде интенсивности деформаций  $n_\varepsilon \cdot \varepsilon_{dl}$ ;

$n_N$  - коэффициент запаса циклической прочности по числу циклов;

$n_\varepsilon$  - коэффициент запаса циклической прочности по деформации;

$N_{pl}$  - определяется по методике действующей нормативной документации с помощью экспериментальных кривых усталости для материала рассматриваемого ротора или корпуса (в этом случае  $n_N = 5$ ) или с помощью приближенных корреляционных зависимостей между числами циклов  $N_{pl}$  и амплитудами  $\varepsilon_{dl}$  (в этом случае  $n_N = 10$ ).

Коэффициент запаса по деформации принимать равным  $n_\varepsilon = 1,5$  (для корпусных деталей, изготовленных методомковки,  $n_\varepsilon = 1,25$ ).

Если по данным, представленным электростанцией, невозможно установить типы проведенных пусков (и соответствующих им циклов), а известно только их общее число  $n$  за время до момента анализа накопленной поврежденности, то накопленную циклическую поврежденность  $\Pi_{\text{ц}}$  следует определять по упрощенной формуле (С.8)

$$\Pi_{\text{ц}} = n / N_p \text{ (или } [\Pi_{\text{ц}}] = n / [N]), \quad (\text{С.8})$$

где  $N_p$  - число циклов до появления трещин МЦУ, соответствующее наиболее жесткому режиму (т.е. режиму с максимальной амплитудой деформаций  $\varepsilon_d$  в рассматриваемой зоне).

**С.2.4** Прогнозируемая на последующий за анализом период эксплуатации осредненная годовая поврежденность  $\Pi''_r$ , которая будет накапливаться в рассматриваемой зоне ротора или корпуса при чередовании  $q''$  типов установившихся режимов, сопровождающихся ползучестью в этой зоне ( $q'' = 1; 2$ ) и  $k''$  типов переменных режимов с циклическими нагрузками ( $k'' = 3; 4$ ), а также соответствующая осредненная годовая поврежденность  $[\Pi''_r]$  должна определяться по формулам (С.9), (С.10)

$$[\Pi''_r] = \sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{t_{pj}''} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{N_{pl}''}; \quad (\text{С.9})$$

$$[\Pi''_r] = \max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{[t_p]''_j} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{[N_p]''_l} \right), n''_{\Pi} \Pi''_r \right\}, \quad (\text{С.10})$$

где  $(t_j^r)''$  - прогнозируемое время работы на установившемся режиме  $j$ -го типа в течение 1 года при эксплуатации после продления ресурса при температуре металла  $\theta_j''$  и эквивалентных местных напряжениях ползучести  $(\sigma'_{\theta j})_{\max}^c$  в проверяемой зоне ротора или корпуса;

$(n_l^r)''$  - прогнозируемое осредненное число циклов  $l$ -го типа за один год при эксплуатации после продления ресурса с размахом местных эквивалентных напряжений  $\Delta \sigma_l''$  или соответствующей этому размаху амплитудой деформаций  $\varepsilon_{dl}''$  в рассматриваемой зоне;

$t_{pj}'', [t_p]''_j, N_{pl}'', [N_p]''_l$  - величины, аналогичные описанным в С.2.1,

определяемые в зависимости от температуры металла, установившихся напряжений ползучести, размахов циклических напряжений и амплитуд деформаций в проверяемых зонах при  $q''$  типов установившихся и  $k''$  типов циклических прогнозируемых режимов на последующий за анализом (продляемый) период эксплуатации;

$n''_{\Pi}$  - запас по поврежденности на продляемый период эксплуатации (в настоящее время  $n''_{\Pi} = n'_{\Pi} = n_{\Pi}$ , определяемый в 5.8.6 и 6.10.6;

после накопления опыта продления индивидуального ресурса станет возможным устанавливать  $n''_{\Pi} \leq n_{\Pi}$ ).

Двумя штрихами отмечены все величины, относящиеся к периоду эксплуатации после проведения анализа и продления ресурса.

### С.3 Определение наработки до появления трещин ползучести и малоцикловой усталости и оценка остаточного ресурса

**С.3.1** Суммарная допускаемая поврежденность с учетом запасов (по напряжениям, деформациям, циклам и поврежденности)  $[II]$ , накапливаемая за время до и после анализа возможности продления ресурса, должна удовлетворять условию (С.11)

$$[II] = [II]' + [II]_{\text{ост}} \leq 1, \quad (\text{С.11})$$

где  $[II]_{\text{ост}} = [II]''$  - допускаемая поврежденность, а  $[II]'$  - накопленная к началу анализа поврежденность с учетом запасов, определяемая формулой (5).

**С.3.2** Согласно формуле (11)  $[II]_{\text{ост}}$  определяется формулой

$$[II]_{\text{ост}} \leq 1 - [II]' \quad (\text{С.12})$$

(ниже знак  $<$  из формулы (С.12) опускается).

**С.3.3** Остаточная допускаемая наработка в годах с учетом запасов по напряжениям, деформациям, циклам, поврежденности  $[G]_{\text{ост}}$  до появления трещин при комбинированном воздействии ползучести и циклических нагрузок должна определяться, как отношение допускаемой остаточной поврежденности  $[II]_{\text{ост}}$  к осредненной годовой поврежденности (с учетом запасов), прогнозируемой на период после анализа возможности продления ресурса  $[II]''$ .

Выражение для  $[G]_{\text{ост}}$  с учетом (С.5), (С.10), (С.12) следует определять по формуле (С.13)

$$[G]_{\text{ост}} = \frac{1 - \max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{[t_p]_j'} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{[N_p]_l'} \right), n'_\Pi \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}} \right) \right\}}{\max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{[t_p]_j''} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{[N_p]_l''} \right), n''_\Pi \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{N''_{pl}} \right) \right\}} \quad (\text{С.13})$$

**С.3.4** Выражение для определения остаточной допускаемой поврежденности с учетом запасов только по поврежденности  $n'_\Pi$  и  $n''_\Pi$  определять по формуле

$$[G]_{\text{ост}} = \frac{1 - n'_{\Pi} \cdot \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}} \right)}{n''_{\Pi} \cdot \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{N''_{pl}} \right)} \quad (\text{C.14})$$

При  $n''_{\Pi} = n'_{\Pi} = n_{\Pi}$  выражение для  $[G]_{\text{ост}}$  имеет вид

$$[G]_{\text{ост}} = \frac{\frac{1}{n} - \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}}}{\sum_{j=1}^{q''} \frac{(t_j^r)''}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{(n_l^r)''}{N''_{pl}}} = \frac{\frac{1}{n} - \Pi'}{\Pi''_{\Gamma}} \quad (\text{C.15})$$

**С.3.5** Если в предшествующий началу анализа возможности продления ресурса или в последующий за этим анализом период эксплуатации отсутствовала поврежденность от ползучести или, наоборот - от циклических нагрузок (или одной из этих поврежденностей в рассматриваемой зоне можно пренебречь, по сравнению с другой), то соответствующие формулы для определения остаточной наработки  $[G]_{\text{ост}}$  получают из формул (С.13) - (С.15), полагая в них равными нулю либо  $t'_j$  и  $(t_j^r)''$ , либо  $n'_l$  и  $(n_l^r)''$  (возможны и другие комбинации равных нулю или пренебрежимо малых составляющих поврежденностей  $\Pi'$  и  $\Pi''_{\Gamma}$ ).

**С.3.6** Если в качестве предельного принимается состояние появления трещины, то остаточная допускаемая наработка  $[G]_{\text{ост}}$  представляет собой остаточный ресурс с учетом запасов, выраженный в годах наработки.

**С.3.7** Остаточную наработку до появления трещины без учета запасов  $G_{\text{ост}}$  (в годах) следует определять формулой (С.16)

$$G_{\text{ост}} = \frac{1 - \Pi'}{\Pi''_{\Gamma}}, \quad (\text{C.16})$$

где  $\Pi'$  определяется формулой (4), а  $\Pi''_{\Gamma}$  - формулой (9).

**С.3.8** Запас остаточного ресурса  $n_{\text{тоост}}$  определять

$$n_{\text{тоост}} = \frac{G_{\text{ост}}}{[G]_{\text{ост}}}. \quad (\text{C.17})$$

**С.3.9** Если известен режим эксплуатации за весь предполагаемый срок службы, то расчетные наработки (в годах) до появления трещин с учетом и без учета запасов  $[G]$  и  $G$  определять по формулам (С.18), (С.19)

$$[G] = \frac{1}{[\Pi]} = \frac{1}{\max \left\{ \left( \sum_{j=1}^q \frac{t_j^r}{[t_p]_j} + \sum_{l=1}^k \frac{n_l^r}{[N_p]_l} \right), n_{\Pi} \cdot \left( \sum_{j=1}^q \frac{t_j^r}{t_{pj}} + \sum_{l=1}^k \frac{n_l^r}{N_{pl}} \right) \right\}} \quad (\text{С.18})$$

$$G = \frac{1}{\Pi^r} = \frac{1}{\sum_{j=1}^q \frac{t_j^r}{t_{pj}} + \sum_{l=1}^k \frac{n_l^r}{N_{pl}}} \quad (\text{С.19})$$

где  $q$  - число типов установившихся режимов с ползучестью за весь срок службы;

$k$  - число различных типов циклического нагружения также за весь срок службы.

Если в качестве предельного принимается состояние появления трещины, то запас ресурса  $n_t$  определять отношением (С.20)

$$n_t = \frac{G}{[G]} \quad (\text{С.20})$$

## С.4 Расчетная оценка живучести

**С.4.1** При расчетной оценке живучести любые выявленные дефекты в роторе или корпусе (трещины, поры, металлургические и технологические дефекты и т.п.) следует рассматривать как трещины - наиболее опасный тип дефектов.

**С.4.2** Для расчетной оценки момента наступления критического состояния, предшествующего разрушению (исчерпание живучести), использовать параметр механики разрушения - коэффициент интенсивности напряжений (КИН) при разрушении отрывом –  $K_I$ . Критическим считается состояние, когда максимальная по фронту трещины величина КИН при одном из возможных режимов достигает критического значения - вязкости разрушения  $K_{Ic}$ , т.е. выполняется равенство

$$K_I = K_{Ic} \quad (\text{С.21})$$

Примечание - Следует проверять режимы, при которых либо  $K_{I(l)}$  достигает максимальной величины при данной глубине трещины  $l$ , либо  $K_{Ic}$  максимально снижено (при наиболее низком запасе рабочей температуры  $\theta$  от критической температуры хрупкости  $\theta_k$ ).

**С.4.3** Для оценки критических размеров дефектов (трещин) использовать утвержденные правила составления расчетных схем, разработанные НПО ЦНИИТМАШ. Поверхностные дефекты заменить плоскими полуэллиптическими трещинами с полуосями  $l$  и  $c$  (меньшая полуось  $l$  совпадает с направлением роста трещины вглубь тела ротора или корпуса, а большая полуось  $c$  перпендикулярна к ней), подповерхностные дефекты заменить плоскими эллиптическими трещинами с теми же обозначениями полуосей.

**С.4.4** Глубину поверхностной трещины  $l$  (или подповерхностной  $2l$ ), при которой выполняется условие (21), считать критической глубиной, т.е. в этом случае  $l = l_{кр}$ .

**С.4.5** Расчет КИН в вершинах полуосей полуэллиптических поверхностных и эллиптических подповерхностных трещин при изменяющихся вдоль направления роста трещин напряжениях выполнять по нормативным документам.

**С.4.6** Для расчетных оценок КИН в сечениях и зонах ротора или корпуса, определяющих их живучесть с дефектами, должны быть определены поля напряжений вдоль направления роста дефекта при основных переменных и установившихся режимах. После этого для стационарных режимов выполнить расчеты КИН –  $K_1$ , а для нестационарных режимов (пуски-остановы и т.п.) их размах  $\Delta K_1 = K_{1max} - K_{1min}$  (в циклах, соответствующих переменным режимам) при всех характерных рассматриваемых режимах для ряда последовательно увеличивающихся значений глубины трещины.

**С.4.7** По найденным для каждого значения глубины трещины  $l$  максимальным значениям КИН –  $K_{1jmax}$  при каждом  $j$ -м типе стационарного режима и максимальным значениям размахов КИН  $\Delta K_{1jmax}$  при каждом  $j$ -м типе переменного режима с помощью кинетических диаграмм или аппроксимирующих их уравнений типа Пэриса для данного материала детали (ротора или корпуса) определить значения мгновенных скоростей роста трещины  $V_{ij}(l)$  под действием ползучести из уравнений

$$V_{nj} = \frac{dl}{dt_j} = C_n \cdot K_{1j}^{m_n}(l) \quad (C.22)$$

и  $V_{ij}(l)$  под действием циклических нагрузок

$$V_{ij}(l) = \frac{dl}{dN_j} = C_{ij} \cdot \left( \frac{\Delta K_{1j}(l)}{\sqrt{1-R}} \right)^{m_{ij}}, \quad (C.23)$$

где  $t_j$  - время действия установившейся ползучести при стационарном режиме  $j$ -го типа;

$N_j$  - число циклов нагружений  $j$ -го типа;

$C_n, m_n, C_{ij}, m_{ij}$  - физические константы материала, определяемые экспериментально;

$R$  - коэффициент асимметрии цикла, определяемый выражением (C.24)

$$R = \begin{cases} \frac{K_{1\min}}{K_{1\max}} \text{ при } -1 \leq \frac{K_{1\min}}{K_{1\max}} \\ -1 \text{ при } \left| \frac{K_{1\min}}{K_{1\max}} \right| > 1 \end{cases} \quad (C.24)$$

Допускается использование других зависимостей  $V_{ц}$  от  $R$  в формуле (C.23), в частности, в запас живучести допускается полагать  $R = 0$  в тех случаях, когда согласно расчету  $R < 0$  или  $R > 1$ .

**С.4.8** Нарботку  $G^*(l)$  (в годах), в течение которой трещина прорастает от начальной глубины  $l_0$  до текущей  $l$  при комбинированном воздействии циклических нагрузок  $k$  типов и ползучести на стационарных режимах  $q$  типов определить интегрированием соотношения (C.25)

$$G^*(l) = \int_{l_0}^l \frac{dl}{\sum_{j=1}^k [V_{цj}(l) \cdot n_j^r] + \sum_{j=1}^q [V_{цj}(l) \cdot t_j^r]} \quad (C.25)$$

где  $V_{цj}(l)$  - скорость роста трещины под действием ползучести при стационарном режиме  $j$ -го типа, определяемая из формулы (C.22), мм/ч;  
 $V_{цj}(l)$  - скорость роста трещины под воздействием циклической нагрузки при переменном режиме  $j$ -го типа, определяемая из формулы (C.23), мм/цикл;

$n_j^r$  - годовое число циклов  $j$ -го типа, цикл;

$t_j^r$  - годовое время воздействия ползучести при  $j$ -м стационарном режиме, ч;

**С.4.9** Расчетное время роста трещины до критического размера  $l = l_{кр}$ , определяющее предельное расчетное время живучести ротора или корпуса с трещиной, определить из формулы (C.25), если в качестве верхнего предела интегрирования принять глубину трещины  $l = l_{кр}$ , при которой коэффициент интенсивности напряжений достигает своего критического значения - вязкости разрушения  $K_I = K_{Ic}$  (если  $l_{кр}/H \leq 0,7$  для поверхностной трещины).

**С.4.10** Расчетное время докритического роста трещины  $[G^*]$  от начальной глубины  $l_0$  до глубины  $l_{пр}$ , соответствующей предельно допускаемому состоянию ротора или корпуса с дефектом с учетом критериев и запасов живучести, определять, как минимум из следующих величин

$$[G^*] = \min\{G^I, G^{II}, G^{III}, G^{IV}\}, \quad (C.26)$$

где  $G^I$  - время подрастания трещины до того момента, когда годовая скорость достигнет принятой в качестве предельной величины  $V^*$ , мм/год;

$G^{II}$  - ориентировочное время, при котором резко возрастает скорость роста трещины, что может служить сигналом о наступлении

предкритического состояния;

$G^{\text{III}}$  - время, по истечении которого значение КИН при наиболее неблагоприятном режиме (режим с наибольшей вероятностью хрупкого разрушения) достигает величины  $K_I(l_{\text{пр}}^{\text{III}}) = K_{\text{Ic}} / n_k$ ,

где  $n_k$  - коэффициент запаса по КИН;

$G^{\text{IV}}$  - время, по истечении которого глубина трещины достигает предельно допускаемой величины  $l = l_{\text{кр}}^{\text{IV}} = l_{\text{кр}} / n_l$ , где  $n_l$  - коэффициент запаса по критической глубине или по критическому размеру дефекта (трещины).

**С.4.11** Для роторов и корпусных деталей турбин следует принимать следующие значения предельной величины годовой скорости роста трещины  $V^*$  (мм/год), запасов по КИН –  $n_k$  и по глубине дефекта (трещины) –  $n_l$ :  $V^* \leq 1,0$  мм/год;  $n_k \geq 1,5$ ;  $n_l \geq 2,2$ .

#### Примечания

1 Для трещин в ободе диска следует принимать  $V^* \leq 2,5$  мм/год;

2 После накопления опыта сопоставления расчетных и экспериментальных оценок скорости и времени докритического роста трещин в роторах и корпусных деталях турбин, определяющих время их живучести с трещинами, приведенные в 4.10, критерии живучести (С.26) и указанные в 4.11 значения запасов должны подвергнуться дополнительному анализу и корректировке.

### С.5 Определение остаточного и полного расчетного ресурса роторов

**С.5.1** В соответствии с определением предельного состояния для роторов, приведенным в 7.2.1, расчетный ресурс ротора  $[G]$  определять формулой (С.18), как наработка до появления трещин ползучести и (или) малоциклового усталости при обеспечении принятых запасов по напряжениям, деформациям, циклам и накапливаемой поврежденности в соответствии с заданными при проектировании или известными из опыта режимами эксплуатации за весь срок службы.

Расчетное время живучести роторов с дефектами не включать в их расчетный ресурс.

**С.5.2** Остаточный ресурс ротора с учетом запасов  $[G]_{\text{ост}}$  определять по формулам (С.13)–(С.15) на основе расчетных оценок поврежденности, накопленной к моменту анализа возможности продления ресурса с учетом особенностей режимов эксплуатации за предшествующий анализу период, и поврежденности, которая будет накапливаться в последующий за анализом период с учетом особенностей прогнозируемых на этот период режимов эксплуатации.

**С.5.3** При расчетной оценке остаточного ресурса ротора проверять удовлетворение критериев статической (кратковременной и длительной) и циклической прочности и предельно допускаемой поврежденности для следующих зон:

- осевой канал на участках дисков двух первых ступеней РВД и РСД;
- передняя и задняя галтели дисков двух первых ступеней РВД и РСД;

- тепловые канавки переднего концевой уплотнения (ПКУ), промежуточного уплотнения и диафрагменного уплотнения между дисками 1-й и 2-й ступеней (если такие канавки имеются);

- концентраторы в пазах Т-образного и галтелях зубчиков грибовидных хвостовых соединений ободьев дисков первых ступеней РВД и РСД.

**С.5.4** В том случае, если накопленное число пусков турбины с исследуемым ротором не превысило 300, допускается выполнять расчетную оценку остаточного ресурса  $[G]_{\text{ост}}$  только по критериям длительной статической прочности и накапливаемой поврежденности от действия только ползучести для зоны осевого канала (если в последующий за анализом период не прогнозируется значительное увеличение среднегодовых чисел пусков, по сравнению с требованиями нормативных документов к маневренности турбоагрегатов рассматриваемого типа).

В этом случае в формулах (С.13) - (С.15) для расчета остаточного ресурса можно полагать  $n'_i = 0$  и  $(n'_i)^n \approx 0$ , а суммарная накапливаемая за предшествующий анализу и последующий периоды поврежденность с учетом запасов  $[L]$  в формуле (С.11) должна удовлетворять условию  $[L] \leq 0,9$  вместо 1,0, а в формуле (15) -  $0,9/n$  вместо  $1/n$ .

**С.5.5** Оценка кратковременной статической прочности роторов следует выполнять по номинальным напряжениям от центробежных сил (ЦБС) без учета температурных напряжений и их концентрации.

**С.5.6** Оценка длительной статической прочности выполнять по номинальным напряжениям и местным напряжениям с учетом концентрации в условиях ползучести от действия ЦБС при номинальной (расчетной) частоте вращения и температурном поле ротора, соответствующем номинальному режиму.

**С.5.7** Запасы кратковременной статической прочности роторов

**С.5.7.1** Для роторов, работающих при упругом деформировании, запас прочности при номинальной (расчетной) частоте вращения определять по отношению к максимальному значению номинального эквивалентного напряжения  $\sigma_{\Sigma}$ .

**С.5.7.2** Коэффициент запаса по пределу текучести материала цельнокованых роторов  $\sigma_{0,2}^0$  при расчетной температуре  $\theta$  на стационарном режиме принимать равным  $n_T \geq 1,6$ .

**С.5.8** Запасы прочности при статическом нагружении в условиях ползучести.

**С.5.8.1** Определение запасов прочности в условиях ползучести выполнять только для номинальной (расчетной) частоты вращения ротора.

**С.5.8.2** Для роторов, работающих в условиях ползучести, запас по номинальным напряжениям, полученным из расчета напряженного состояния с учетом ползучести (на рассматриваемом ресурсе  $t$ ), по отношению к пределу длительной прочности  $\sigma_{\text{дл}}^0$  при расчетной температуре  $q$ , определенному на том же ресурсе  $t$ , принимается равным  $n_{\text{дл}} \geq 1,5$ .

Для роторов из стали Р2, Р2МА (25Х1М1ФА), изготовленных по действующим нормативным документам, допускается снижение этого запаса до  $n_{\text{дл}}$

$\geq 1,3$ , если расчет напряженного состояния ротора в условиях ползучести выполнен по теории старения с использованием изохронных кривых.

**С.5.8.3** Максимальная расчетная окружная деформация ползучести на расточке ротора за расчетный срок службы (наработку) не должна превышать:

для стали марок Р2, Р2МА (25Х1М1ФА) -

0,7% при ресурсе  $10^5$  ч,

0,9% при ресурсе  $2 \cdot 10^5$  ч,

1,0% при ресурсе, превышающем  $2 \cdot 10^5$  ч;

для сталей других марок -

0,6% при ресурсе  $10^5$  ч,

0,7% при ресурсе  $2 \cdot 10^5$  ч,

0,8% при ресурсе, превышающем  $2 \cdot 10^5$  ч.

**С.5.8.4** Для зон концентрации напряжений, вычисленных с учетом ползучести (но без учета температурных напряжений), значения коэффициентов запаса длительной прочности, указанные в п. 5.8.2, принимать на 10% меньше.

**С.5.8.5** Для роторов, работающих в условиях ползучести и циклического нагружения, кроме требований, предусмотренных в 5.8.2 - 5.8.4, должны соблюдаться требования по суммарной накапливаемой поврежденности  $[П]$  согласно формуле (С.11).

В развернутом виде это условие выражается формулами

$$[П] = \max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{[t_p]_j} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{[N_p]_l} \right), n'_n \cdot \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}} \right) \right\} +$$

$$+ \max \left\{ \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{t''_j}{[t_p]_j} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{n''_l}{[N_p]_l} \right), n''_n \cdot \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{t''_j}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{n''_l}{N''_{pl}} \right) \right\} \leq 1 \quad (C.27)$$

При определении допускаемой поврежденности  $[П]$  с учетом запасов только по поврежденности  $n'_n, n''_n$  условие (С.27) имеет следующий вид

$$[П] = n'_n \cdot \left( \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}} \right) + n''_n \cdot \left( \sum_{j=1}^{q''} \frac{t''_j}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{n''_l}{N''_{pl}} \right) \leq 1, \quad (C.28)$$

при  $n'_n = n''_n = n$  условие (28) имеет вид

$$[П] = \sum_{j=1}^{q'} \frac{t'_j}{t'_{pj}} + \sum_{l=1}^{k'} \frac{n'_l}{N'_{pl}} + \sum_{j=1}^{q''} \frac{t''_j}{t''_{pj}} + \sum_{l=1}^{k''} \frac{n''_l}{N''_{pl}} \leq \frac{1}{n}. \quad (C.29)$$

**С.5.8.6** Запас по поврежденности для роторов  $n_n$  принимать равным  $n_n = 5$ .

## С.6 Определение остаточного и полного ресурсов корпусных деталей

**С.6.1** Время живучести корпусных деталей с дефектами (трещинами) включается в их расчетный ресурс.

Соответственно полный и остаточный расчетные ресурсы корпуса  $[L]$  и  $[L]_{\text{ост}}$  включают полную  $[G]$  или остаточную  $[G]_{\text{ост}}$  наработку (в годах) до появления трещины и расчетное время докритического роста трещины  $[G^*]$  и должны определяться формулами (С.30), (С.31)

$$[L] \leq [G] + [G^*]; \quad (\text{С.30})$$

$$[L]_{\text{ост}} \leq [G]_{\text{ост}} + [G^*]. \quad (\text{С.31})$$

**С.6.2** Поскольку в литых корпусных деталях велика вероятность наличия невыявленных при изготовлении металлургических и технологических дефектов, допускается определять полный и остаточный ресурсы таких деталей, без учета времени до появления трещины, т.е. полагать в формулах (30) и (31)  $[G] = 0$  и  $[G^*]_{\text{ост}} = 0$  соответственно. В этом случае

$$[L]_{\text{ост}} = [L] = [G^*]. \quad (\text{С.32})$$

**С.6.3** Первая часть полного и остаточного расчетных ресурсов корпуса  $[G]$  и  $[G]_{\text{ост}}$  должны определяться по формулам (С.18) и (С.13)-(С.15) соответственно, а вторая часть  $[G^*]$  - по формуле (26).

**С.6.4** Корпус может быть признан работоспособным, если после обнаружения трещины и необходимого ремонта его расчетный остаточный ресурс  $[L]_{\text{ост}}$  будет превышать продолжительность запланированного межремонтного периода.

**С.6.5** Оценки статической (кратковременной и длительной) прочности корпусов должны выполняться по различным критериям с учетом дифференциации их напряженного состояния по степени опасности его составляющих на три группы эквивалентных упругих (или условно упругих) напряжений, вычисляемых по общим и местным мембранным, изгибным, температурным и компенсационным напряжениям в соответствии с их классификацией по категориям и группам (подраздел С.7).

Концентрацию напряжений в зонах отверстий, пазов, выступов и патрубков при оценках статической прочности не учитывать.

**С.6.6** Для оценок длительной статической прочности составляющие групп и категорий напряженного состояния и групп эквивалентных напряжений следует получать на основании расчетов с учетом ползучести. Допускается использовать в критериях длительной прочности завышенные значения напряжений из упругого расчета, если эти критерии удовлетворяются.

**С.6.7** Оценку циклической прочности (допускаемых чисел циклов по разделу 2.3) и циклических составляющих поврежденности в (С.4), (С.5), (С.9) - (С.16), (С.18), (С.19) выполнять по амплитудам эквивалентных упругих (или условно упругих) напряжений, вычисляемых через все составляющие напряженного состояния (общие и местные мембранные, изгибные, температурные и компенсационные напряжения) с учетом их концентрации.

**С.6.8** Оценки составляющих поврежденности от ползучести в (С.4), (С.5), (С.9) - (С.16), (С.18), (С.19) выполнять по эквивалентным напряжениям, вычисляемым через составляющие общих и местных мембранных и изгибных напряжений с учетом их концентрации, получаемые из расчета с учетом ползучести.

**С.6.9** Критерии и запасы кратковременной статической прочности.

**С.6.9.1** Для всех зон стенки корпуса должны удовлетворять критериям кратковременной статической прочности для двух групп эквивалентных напряжений согласно формуле (С.33)

$$(\sigma)_j \leq \frac{\sigma_{0,2}^{\theta}}{n_T^{(j)}} (j = 1, 2), \quad (\text{С.33})$$

где  $\sigma_{0,2}^{\theta}$  - предел текучести материала при расчетной температуре  $\theta$ ;

$(\sigma)_{j=1}$  - первая группа эквивалентных напряжений, вычисляемых через составляющие только общих мембранных напряжений;

$(\sigma)_{j=2}$  - вторая группа эквивалентных напряжений, вычисляемых через составляющие общих и местных мембранных и общих изгибных напряжений (приложение С.1 к настоящему Порядку);

$n_T^{(1)}, n_T^{(2)}$  - запасы кратковременной статической прочности для первой и второй групп эквивалентных напряжений.

В приложении С.1 приведены дополнительные критерии кратковременной статической прочности.

**С.6.9.2** Коэффициенты запаса  $n_T^{(1)}$  и  $n_T^{(2)}$  принимать равными

$$n_T^{(1)} = 1,5; n_T^{(2)} = n_T^{(1)} / 1,3 = 1,15.$$

**С.6.10** Критерии и запасы прочности при статическом нагружении в условиях ползучести.

**С.6.10.1** При поверочном расчете на длительную прочность следует рассматривать все стационарные режимы, проходящие при температурах, превышающих указанные в 4.2.

**С.6.10.2** Корпус, подлежащий проверке на длительную прочность, должен удовлетворять всем критериям кратковременной статической прочности согласно 6.9.

**С.6.10.3** Группы эквивалентных напряжений  $(\sigma)_j^c$  ( $j=1, 2$ ), вычисляемые через составляющие напряженно-деформированного состояния, полученные расчетом с

учетом ползучести (без учета концентрации), должны удовлетворять следующим критериям

$$(\sigma)_j \leq \frac{\sigma_{\text{дп}}^{\theta}}{n_{\text{дп}}^{(j)}} (j = 1, 2), \quad (\text{С.34})$$

где  $\sigma_{\text{дп}}^{\theta}$  - предел длительной прочности материала при расчетной температуре  $\theta$  за время наработки  $t$  часов;

$n_{\text{дп}}^{(1)}, n_{\text{дп}}^{(2)}$  - запасы длительной статической прочности для первой и второй групп эквивалентных напряжений ползучести.

**С.6.10.4** Коэффициент запаса длительной прочности  $n_{\text{т}}^{(1)}$  первой группы эквивалентных напряжений ползучести  $(\sigma)_1^{\text{с}}$ , соответствующей только мембранным напряжениям, принимать равным:  $n_{\text{дп}}^{(1)} = 1,5$ .

Формулы для пересчета коэффициента запаса для второй группы эквивалентных напряжений, а также дополнительный критерий длительной прочности приведены в подразделе С.1.

**С.6.10.5** Для корпусов, работающих в условиях ползучести и циклического нагружения, кроме требований, предусмотренных в С.6.9 и С.6.10, должны также соблюдаться запасы по суммарной накапливаемой поврежденности  $[I]$  согласно формуле (С.11).

В развернутом виде это условие выражается формулами (С.27) - (С.29).

**С.6.10.6** Запас по поврежденности для корпусов  $n_{\text{п}}$  принимать равным  $n_{\text{п}} = 5$ , однако, в конкретных случаях, по усмотрению экспертной организации, выполняющей оценку индивидуального ресурса корпуса, запас по поврежденности корпусных деталей может быть уменьшен.

## С.7 Классификация эквивалентных напряжений

**С.7.1** В критериях статической и циклической прочности используется дифференциация эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{э}}$  по группам, в соответствии с классификацией всех компонентов напряженного состояния корпусных деталей по категориям, позволяющей дифференцировать запасы прочности в зависимости от степени опасности каждой из категорий.

$(\sigma)_1$  - группа эквивалентных напряжений, определяемая по составляющей общих мембранных напряжений  $\sigma_{jm}$ ;

$(\sigma)_2$  - группа эквивалентных напряжений, определяемая по суммам составляющих общих (или местных) мембранных и общих изгибных напряжений;

$(\sigma)_R$  - максимальный размах эквивалентных напряжений, определяемых по сумме составляющих общих (или местных) мембранных, общих и местных изгибных, общих температурных напряжений и напряжений компенсации (общих и местных мембранных и изгибных).

**С.7.2** Максимальный размах эквивалентных напряжений при поверочном расчете на статическую прочность следует определять по максимальным  $\sigma_{\text{э max}}$  и

минимальным  $\sigma_{\text{э min}}$  (в алгебраическом смысле) значениям номинальных эквивалентных напряжений для всего процесса возможного изменения напряжений (во всех рассматриваемых режимах)  $(\sigma)_R = \sigma_{\text{э max}} - \sigma_{\text{э min}}$ , где эквивалентные номинальные напряжения  $\sigma_{\text{э}}$  вычислить по формулам (С.1), (С.2) или (С.3) через значения всех составляющих компонентов напряженного состояния без учета их концентрации.

$(\sigma_{aF})$  - амплитуда эквивалентных напряжений, определяемых по суммам составляющих общих или местных мембранных, общих и местных изгибных, общих и местных температурных напряжений и общих и местных мембранных и изгибных напряжений компенсации с учетом концентрации напряжений в корпусе, вызванной влиянием таких концентраторов, как отверстия, галтели, кольцевые пазы и выступы, штуцеры и т.п.

**С.7.3** Амплитуду эквивалентных напряжений в цикле определить по максимальным и минимальным (в алгебраическом смысле) значениям эквивалентных напряжений  $(\sigma_{aF}) = (\sigma_{\text{э max}} - \sigma_{\text{э min}})/2$ , которые вычислить через значения всех составляющих компонентов напряженного состояния с учетом их концентрации.

**С.7.4** Общие и местные мембранные, изгибные и температурные напряжения, используемые для вычисления трех первых групп эквивалентных напряжений  $(\sigma)_1$ ,  $(\sigma)_2$ ,  $(\sigma)_R$ , определить без учета влияния концентраторов напряжений типа отверстий, угловых галтелей в кольцевых пазах и у кольцевых выступов, штуцеров. Концентрацию напряжений в зоне таких концентраторов учитывать только при определении четвертой группы эквивалентных напряжений  $(\sigma_{aF})$ , используемой при проверке выполнения критериев циклической (малоцикловой) прочности и оценке величины накапливаемой суммарной (статической и циклической) поврежденности. Третью группу эквивалентных напряжений  $(\sigma)_R$  использовать в качестве необязательного дополнительного критерия кратковременной статической и длительной прочности по усмотрению конструкторской (проектной) организации.

**С.7.5** В случае выполнения расчета напряжений одним из численных методов (например, МКЭ) для удобства выделения трех первых групп эквивалентных напряжений  $((\sigma)_1, (\sigma)_2, (\sigma)_R)$ , которые рассматриваются как номинальные и должны вычисляться без учета концентрации в зонах отверстий, пазов, выступов, патрубков, следует составить две расчетные модели корпуса: предварительную, в которой такие концентраторы исключены (отверстия и пазы «закрыты», выступы и патрубки «удалены»), и окончательную - с учетом концентраторов.

**С.7.6** Допускаются и другие способы выделения указанных групп эквивалентных напряжений (номинальных напряжений).

## **С.8 Дополнительные критерии и коэффициенты запаса статической прочности корпусных деталей**

**С.8.1** Для зон стенки корпуса, в которых возникают циклические напряжения, содержащие дополнительно местные изгибные напряжения, общие

## СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ

температурные напряжения, а также общие или местные компенсационные напряжения дополнительно к критериям кратковременной статической прочности (С.33) следует проверять критерии относительно размаха и максимальной по модулю величины эквивалентных напряжений  $(\sigma)_R$ ,  $|\sigma_{\text{э max}}|$ ,  $|\sigma_{\text{э min}}|$

$$(\sigma)_R \leq \begin{cases} \left( 2,5 - \frac{\sigma_{0,2}^{\theta}}{\sigma_b^{\theta}} \right) \cdot \sigma_{0,2}^{\theta} \\ 2\sigma_{0,2}^{\theta} \end{cases} \quad (\text{C.35})$$

$$|\sigma_{\text{э max}}| \leq \sigma_b^{\theta} \text{ и } |\sigma_{\text{э min}}| \leq \sigma_b^{\theta}. \quad (\text{C.36})$$

Выполнение критериев (С.35) и (С.36) не является обязательным в тех случаях, когда возможное при эксплуатации искажение формы конструкции, связанное с невыполнением этих критериев, не может повлиять на нормальную эксплуатацию рассчитываемого корпуса (например, не может возникнуть значительный остаточный прогиб корпуса или нарушение герметичности фланцевых соединений, заклинивание шпонок, препятствующее расширению и скольжению корпуса и т.п.).

**С.8.2** При поверочном расчете на длительную прочность для зон, указанных в 5.1.1 кроме критериев (С.34), дополнительно следует проверить критерий

$$(\sigma)_R^c \leq \frac{\sigma_{\text{дп}}^{\theta}}{n_{\text{дп}}^{(3)}}. \quad (\text{C.37})$$

**С.8.3.** Коэффициенты запаса  $n_{\text{дп}}^{(2)}$ ,  $n_{\text{дп}}^{(3)}$ , вычисляются по формулам (С.38), (С.39)

$$n_{\text{дп}}^{(2)} = \frac{n_{\text{дп}}^{(1)}}{K_t}; \quad (\text{C.38})$$

$$n_{\text{дп}}^{(3)} = \frac{n_{\text{дп}}^{(1)}}{K'_t}. \quad (\text{C.39})$$

Если в рассматриваемом сечении местные мембранные напряжения отсутствуют, то

$$K_t = 1,25 - 0,25 \frac{(\sigma)_m^c}{[\sigma]_t^{\theta}}, \quad K'_t = 1,75 - 0,25 \frac{(\sigma)_m^c}{[\sigma]_t^{\theta}}, \quad (\text{C.40})$$

Если в рассматриваемом сечении возникают местные мембранные напряжения, то

$$K_t = 1,25 - 0,25 \frac{(\sigma)_{mL}^c}{[\sigma]_t^\theta}, \quad K'_t = 1,75 - 0,25 \frac{(\sigma)_{mL}^c}{[\sigma]_t^\theta} \quad (C.41)$$

## Приложение Т

### Методические рекомендации по объему и периодичности контроля литых деталей турбин высокого и сверхкритического давлений с трещинами

#### Т.1 Общие положения

**Т.1.1** Настоящие методические рекомендации устанавливают возможность эксплуатации высокотемпературных (температура пара на входе не ниже 450 °С) литых корпусных деталей паровых турбин с давлением пара 9 МПа и выше, в которых при контроле обнаружены трещины. Появление трещины на литом корпусе цилиндра или клапана паровой турбины (далее - литой детали) не обязательно исключает возможность дальнейшей эксплуатации, но требует установления периодического контроля за развитием трещины и состоянием металла.

**Т.1.2** Настоящие Методические рекомендации распространяются на литые детали из стали марок 15Х1М1ФЛ, 20ХМФЛ и 20ХМЛ турбин производства АО «ЛМЗ», АО «Турбомоторный завод» и АО «Турбоатом», наработка которых составляет не менее 50 тыс.ч, но не превышает 300 тыс.ч, а трещины расположены в доступной для ремонта зоне.

#### Т.2 Фиксация размера трещины

**Т.2.1** При обнаружении трещины, решение о методе ремонта (удаление или оставление) следует принимать на основании специального обследования для определения ее протяженности и глубины, а также толщины стенки детали. При этом необходимо учитывать зону расположения трещины.

**Т.2.2** Протяженность каждой трещины устанавливать визуальным контролем и уточнять с помощью неразрушающих методов контроля (МПД, УЗК, КД, травление, ВТК и т.д.). После этого зафиксировать размеры трещины с помощью сверления или кернения, служащие исходными отметками для последующего контроля, а также являющиеся препятствием для дальнейшего развития дефекта.

**Т.2.3** Фиксирование протяженности трещины на необработанных (литейных) поверхностях проводить засверловкой концов трещины сверлом диаметром 18 мм на глубину 10 мм; на обработанных поверхностях (фланцы, расточки, резьба) - сверлом диаметром 5 мм на ту же глубину или кернением.

**Т.2.4** Максимальную глубину трещины следует оценивать путем осмотра от трех до пяти сверлений диаметром 18 мм, равномерно расположенных по длине трещины и удаленных друг от друга не более чем на 100 мм, причем одно или два сверления должны быть посередине трещины и на участке ее максимального раскрытия. Сверление прекращается, как только визуальным контролем с подсветкой будет установлено, что дно гнезда сверления очистилось от дефекта. Для облегчения обнаружения выхода сверления за пределы трещины допускается применять вихретоковый или капиллярный методы контроля.

**Т.2.5** При расположении трещины на обработанной поверхности, если не принято решение о ее удалении, глубину трещины допускается определять с помощью экспериментально найденного соотношения (Т.1)

$$h_T = 0,25l_T, \quad (Т.1)$$

где  $l_T$  - длина трещины, а  $h_T$  - глубина, а также (для  $h_T$  менее 10 мм) с помощью неразрушающих физических методов контроля: УЗК, ВТК и т.д.

**Т.2.6** Толщину стенки детали в зоне трещины следует определять с помощью ультразвукового толщиномера, при этом, в качестве эталона следует использовать фланцы и лапы этой же детали, толщину которых необходимо определить штангенциркулем или другим измерительным инструментом. Допускается определять толщину стенки с помощью измерительных скоб и других механических приспособлений.

**Т.2.7** Размеры трещины занести в протокол визуального контроля и измерений. Протокол должен подписываться специалистом, осуществляющим визуальный контроль и измерения.

### **Т.3 Выбор способа ремонта**

**Т.3.1** Способ ремонта зависит от расположения трещины и результатов сравнения ее глубины и протяженности с размерами дефектов (таблица Т.1), а также выборок (таблица Т.2.), оставляемыми согласно настоящим Методическим рекомендациям до очередного капитального ремонта. Эти размеры найдены расчетом на базе закономерностей механики разрушения и уточнены с учетом эксплуатационного опыта. Варианты ремонта предложены исходя из повышенной роли термических напряжений при образовании трещин на внутренней поверхности, вследствие чего, после начального быстрого развития, обычно, происходит остановка их роста. Напротив, появление трещин с наружной стороны в большей мере связано с ползучестью, и поэтому их удаление желательно, т. к. при этом удаляется и поврежденный ползучестью слой металла. Ниже даются типовые решения в зависимости от результатов такого анализа.

**Т.3.2** Подлежат обязательному удалению трещины, образовавшиеся на паровпускных патрубках, патрубках отбора (паровыпускных), у дренажных отверстий, а также в примыкающей к ним зоне шириной 50 мм.

**Т.3.3** Возможность оставления трещины на поверхности фланцевого разъема должна решать специализированная организация, имеющая в своем составе эксперта в области промышленной безопасности.

**Т.3.4** Трещина на внутренней поверхности, не подпадающая под действие Т.3.2 и Т.3.3:

- оставляется без выборки, если размеры меньше допустимых;
- удаляется, а выборка оставляется без подварки, если размеры не превосходят допустимых;

## СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ

- удаляется, а выборка подваривается, если размеры образовавшейся выборки превосходят допустимые.

**Т.3.5** Трещина на наружной поверхности, не подпадающая под действие Т.3.2 и Т.3.3:

- оставляется без выборки в зонах детали с рабочей температурой ниже 400 °С и размерами меньше допустимых;

- удаляется, если размеры больше допустимых, выборка при размерах больше допустимых - подваривается;

- удаляется полностью в зонах детали с рабочей температурой выше 400 °С, выборка при размерах больше допустимых - подваривается.

**Т.3.6** Нормы на допустимые дефекты и выборки, указанные в таблицах Т.1 и Т.2, действуют, если межремонтный срок не превышает 5 лет, а число пусков за этот период не более 100. На детали могут быть оставлены несколько единичных дефектов указанного в таблице Т.1 размера при условии, что расстояние между их ближайшими точками не меньше 200 мм. Вопрос оставления трещин и выборок, если в одной и той же зоне дефекты располагаются одновременно с внутренней и наружной сторон детали, решает экспертная организация. В случае ремонта в зоне, где дефекты обнаруживались ранее, при определении допустимых размеров трещин и выборок за основу должна приниматься наименьшее значение: номинальная толщина стенки детали (по чертежу) или фактическая измеренная.

**Таблица Т.1 – Глубина и длина единичных эксплуатационных трещин, оставляемых без выборки на поверхности литых корпусных деталей турбин**

| Завод-изготовитель | Давление острого пара | Мощность, МВт | Размеры допустимых дефектов (глубина, длина - в долях от толщины стенки) на деталях |                |
|--------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                    |                       |               | Клапаны                                                                             | Цилиндры       |
| АО «ТМЗ»           | 9-11                  | ≤ 50          | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 13                    | 50-100        | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 24                    | 250           | Не допускаются                                                                      | 0,15×1         |
| АО «ЛМЗ»           | 9-11                  | ≤ 100         | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 13-24                 | 50-300        | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 24                    | 500-1200      | Не допускаются                                                                      | 0,15×1         |
| АО «ТУРБО-АТОМ»    | 9-11                  | ≤ 50          | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 13                    | 160           | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 24                    | 300           | 0,1×0,7                                                                             | 0,15×1         |
|                    | 24                    | 500           | Не допускаются                                                                      | Не допускаются |

**Т.3.7** В случае оставления трещины контроль за ее глубиной проводить при каждом периодическом контроле. В тех случаях, когда размер трещин или выборок превосходит указанный в таблицах Т.1 и Т.2 или их расположение не соответствует рекомендациям раздела 3, срок эксплуатации до очередного контроля (допустимое время работы) должна определять расчетным путем

специализированная организация, имеющая в своем составе эксперта в области промышленной безопасности.

#### Т.4 Определение срока очередного контроля

**Т.4.1** Допустимое время работы следует оценивать по фактической средней скорости роста трещины за межремонтную кампанию, предшествующую обнаружению трещины, и эффективной толщине стенки. Такая оценка возможна при отсутствии микроповреждений металла порами ползучести более 3 балла по действующей нормативной документации. Для этого запас по длительной прочности в рассматриваемый период наработки составляет не менее 1,3.

**Т.4.2** Допустимое время работы корпуса до следующего обследования оценивается с помощью выражения

$$\tau_p = (h_{ст}/A) \cdot (\ln V_{срм} - \ln V_{срт}) \quad (Т.1)$$

где  $h_{ст}$  - толщина стенки детали в направлении хода трещины от внутренней поверхности до ближайшей критической точки, мм;

$V_{срт}$  - уловная средняя скорость роста трещины за межремонтный период, предшествующий обнаружению трещины;

$V_{срм}$  - максимальная скорость при предельно допустимой глубине трещины;  
 $A$  - постоянная, зависящая от типа детали, состояния металла и режима эксплуатации, определяется статистической обработкой результатов контроля данной корпусной детали за весь срок эксплуатации.

**Т.4.3** Условную среднюю скорость роста трещины за межремонтный период, предшествующий обнаружению трещины находить из соотношения:

$$V_{срт} = (h_T - h_0)/\tau_{мрк}, \quad (Т.2)$$

где  $\tau_{мрк}$  - продолжительность межремонтной кампании;

$h_T$  - наибольшая глубина трещины, устанавливается по глубине выборки или сверлением;

$h_0$  - условная глубина начального дефекта, определяется из соотношения:  $h_0 = 0,1h_{ст}$ .

**Т.4.4** Средняя скорость роста трещины по мере ее углубления в деталях различных типов представляется линейной зависимостью

$$V_{срт} = A \cdot (h_T/h_{ст}) + B, \quad (Т.3)$$

где  $A$  и  $B$  - постоянные, зависящие от типа детали, состояния металла и режима эксплуатации, определяются статистической обработкой результатов контроля данной корпусной детали за весь срок эксплуатации.

**Т.4.5** Максимальная скорость при предельно допустимой глубине трещины  $V_{срм}$  определять по зависимости (Т.3) с учетом предельно допустимой глубины трещины. Для корпусов цилиндров максимальная глубина трещины, для которой

## СТП XXXX.XX.430-XX

ведется расчет, принимать  $h_{\text{тм}} = h_{\text{ст}}$ , для корпусов клапанов:  $h_{\text{тм}} = 0,75 \cdot h_{\text{ст}}$ . С учетом этого средняя максимальная скорость  $V_{\text{срм}}$ , возможная при предельно допустимом развитии трещины составит соответственно:

для корпуса цилиндра

$$V_{\text{срм}} = A+B, \quad (\text{T.4})$$

для корпуса клапана

$$V_{\text{срм}} = 0,75A + B. \quad (\text{T.5})$$

**Т.4.6** За допустимое время работы следует принимать минимальное значение, полученное с помощью выражения (Т.1) по результатам двух последних обследований корпусной детали. Если рассчитанный межремонтный срок окажется меньше принятого для данной турбины (4-6 лет), то решение о межремонтном сроке следует принимать с учетом оценки технического состояния литого металла на вырезанных образцах в соответствии с критериями надежности литого металла деталей после 100 тыс. ч работы (см. раздел 9). Эскизы на вырезку образцов предоставляет экспертная организация или завод-изготовитель турбины.

**Таблица Т.2 – Глубина выборок, оставляемых без заварки  
на литых корпусных деталях паровых турбин**

| Завод-изготовитель | Давление<br>острого пара,<br>МПа | Мощность,<br>МВт | Допустимая глубина выборок (в долях<br>от толщины стенки) на деталях, в т.ч. в<br>зоне патрубков (знаменатель) |           |
|--------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                    |                                  |                  | Клапаны                                                                                                        | Цилиндры  |
| АО "ТМЗ"           | 9-11                             | $\leq 50$        | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 13                               | 50-100           | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 24                               | 250              | 0,2/0,10                                                                                                       | 0,3/0,15  |
| АО "ЛМЗ"           | 9-11                             | $\leq 100$       | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 13-24                            | 50-300           | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 24                               | 500-1200         | 0,2/0,10                                                                                                       | 0,25/0,10 |
| АО ТУРБОАТОМ       | $\leq 9$                         | $\leq 50$        | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 13                               | 160              | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 24                               | 300              | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |
|                    | 24                               | 500              | 0,25/0,15                                                                                                      | 0,3/0,15  |

### Т.5 Наблюдение за ростом трещин

**Т.5.1** Периодический контроль проводить после допустимой наработки, рассчитанной в соответствии с рекомендациями в разделе 4.

**Т.5.2** Контроль проводить на остановленной турбине в соответствии с нормативными документами.

**Т.5.3** При вскрытии корпуса положение фронта трещины устанавливать визуальным контролем, а также с помощью методов, указанных в разделе 5.

**Т.5.4** При обнаружении увеличения длины трещины более чем на 30 мм на необработанной поверхности или более чем на 10 мм на поверхности фланцевого разъема, экспертная организация должна проводить оценку остаточного ресурса согласно разделу 7. При этом за глубину трещины следует принимать разность между новой глубиной выборки или сверления  $h_t''$  и первоначальной глубиной трещины  $h_t'$ . Поэтому вместо (Т.2) принимается

$$V_{\text{срт}} = \frac{(h_t'' - h_t')}{\tau_{\text{мрк}}} \quad (\text{Т.6})$$

**Т.5.5** Критерием прекращения эксплуатации является следующее сочетание: скорость роста трещины при последнем наблюдении составляет более  $10^{-3}$  мм/ч, свойства металла не удовлетворяют требованиям критериев надежности после 100 тыс. ч работы. Затем следует проводить ремонт корпуса по более полной программе.

## Приложение У

### Правила профилактического осмотра и ремонта роторов генераторов

#### У.1 Проведение осмотра

**У.1.1** При осмотре бочки ротора со снятием бандажных колец выполнять следующие действия:

- провести осмотр с помощью лупы кратностью от  $4^{\times}$  до  $10^{\times}$  посадочных поверхностей бочки ротора, мест контакта клиньев и зубцов в концевой зоне, мест стыка пазовых клиньев в большом зубе. При осмотре следует учитывать, что наиболее часто встречаются дефекты типа подкалов, подгаров и трещин. Признаками возникновения указанных дефектов на роторах являются: вспучивание краски, цвета побежалости, повышенная твердость металла, брызги от подплавленных дюралюминиевых клиньев на расточке статора;

- в случае обнаружения дефектов на стыках пазовых клиньев в большом зубе провести расклиновку ротора, а затем осмотр стыков клиньев на всей поверхности бочки ротора, коронок зубцов в большом зубе, мест контактов клиньев и зубцов в концевой зоне (в том числе по всей коронке).

**У.1.2** При осмотре бочки ротора при выводе ротора без снятия бандажных колец следует:

- провести осмотр поверхности бочки ротора в местах стыка пазовых клиньев, мест вблизи носика бандажных колец, в том числе кольцевых канавок, а также торцевой поверхности бандажных колец;

- при обнаружении цветов побежалости, подгаров, подкалов и трещин на бочке ротора провести осмотр в соответствии с п.У.1.1.

**У.1.3** Осмотр бочки ротора после длительного несимметричного режима с  $I_2 \geq 8 \% I_N$  и во всех случаях, когда  $I_2^2 \cdot t > 8$  с, выполнять следующим образом: после снятия бандажных колец и расклиновки ротора провести осмотр посадочных поверхностей бочки ротора, мест контакта клиньев и зубцов в концевой зоне и мест стыка пазовых клиньев, а также коронок зубцов внутри паза.

**У.1.4** Все обнаруженные при осмотре дефекты необходимо зафиксировать.

**У.1.5** После осмотра бочки ротора по п.п. У.1.1, У.1.2, У.1.3, в случае обнаружения дефектов, следует провести соответствующую подготовку поверхностей, на которых обнаружены дефекты, и их неразрушающий контроль специалистами специализированных лабораторий. Применяемые при неразрушающем контроле методы должны обеспечивать выявление трещин и подкаленных участков. Рекомендуется применять магнитопорошковый метод контроля, капиллярный метод (цветная дефектоскопия), измерение твердости. Выявление подкаленных участков проводится металлографическим методом, травлением раствором азотной кислоты в этиловом спирте и (или) измерением твердости.

Превышение твердости на 40 единиц и более по Бринеллю (Виккерсу), по сравнению с основным металлом, свидетельствует о наличии подкала.

**У.1.6** При проведении травления исследуемый участок необходимо ограничивать изолирующей массой (пластилин, силикон и т.д.), надежно предотвратив затекание кислоты на другие участки. Участок травления после контроля следует нейтрализовать 10% раствором соды, тщательно промыть водой и просушить. Необходимо зачистить травленую поверхность наждачной шкуркой.

## **У.2 Устранение дефектов**

**У.2.1** Устранение дефектов с посадочных поверхностей бочки ротора может быть осуществлено, в зависимости от количества дефектов и степени их распространения, общей проточкой пораженной поверхности или местной зачисткой шлифовальным камнем. С помощью шлифовального камня удалить отдельные зоны подкала и трещины. Выборка должна иметь плавный переход к основной поверхности.

Общая площадь местных выборок на посадочных поверхностях бочки ротора не должна превышать 5 % площади посадочной поверхности (на каждой поверхности) при максимальной глубине не более 5 мм. Более глубокие выборки и на большей площади, а также кольцевую проточку посадочной поверхности, проводить только по согласованию с заводом-изготовителем генератора или специализированной организацией.

Механическую обработку пораженной посадочной поверхности с применением станочного оборудования следует осуществлять только по согласованию с заводом – изготовителем или специализированной организацией. При этом, не исключена необходимость изготовления нового бандажного кольца со специальными посадочными диаметрами.

**У.2.2** Устранение дефектов в местах стыка пазовых клиньев в большом зубе выполнять местной зачисткой шлифовальным камнем. Чистота поверхности местных выборок должна соответствовать  $R_z = 20$  мкм.

В процессе ремонта, по документации завода-изготовителя, необходимо изменить положение пазовых клиньев таким образом, чтобы стыки клиньев (за исключением концевых) в соседних пазах были сдвинуты друг относительно друга. Стыки пазовых клиньев не должны располагаться в местах глубоких выборок металла ротора.

**У.2.3** Дефекты (подгары, подкалы, трещины) должны быть удалены полностью. Полнота удаления подкаленного места контролируется травлением мест выборки, а трещин - методами неразрушающего контроля.

**У.2.4** При необходимости, в случаях, не оговоренных настоящим стандартом, способ и объем устранения дефектов необходимо согласовывать с заводом-изготовителем или специализированной организацией по ремонту.

## **У.3 Допуск роторов к эксплуатации**

Допускать к дальнейшей эксплуатации следует роторы, на которых дефекты отсутствуют или устранены во время ремонта, выполненного в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

## Приложение Ф

### Правила осмотра, дефектоскопии и ремонта бандажных колец и вспомогательных элементов бандажного узла турбоагрегатов, находящихся в эксплуатации

#### Ф.1 Назначение

**Ф.1.1** Требованиями настоящих Правил следует руководствоваться при проведении осмотров бандажных колец и вспомогательных элементов бандажного узла (накидной гайки, защитного кольца и т.п.) турбоагрегатов всех типов, находящихся в эксплуатации.

**Ф.1.2** Неразрушающий контроль бандажных колец и вспомогательных элементов бандажного узла проводится специалистами лабораторий металлов электростанций, энергосистем и ремонтных предприятий.

**Ф.1.3** Ремонт бандажных колец и деталей бандажного узла выполняется специально подготовленным персоналом электростанций или ремонтных предприятий с контролем наличия трещин специалистами лаборатории металлов.

#### Ф.2 Снятие и насадка бандажных колец и вспомогательных элементов бандажного узла

**Ф.2.1** Операции по снятию и насадке бандажных колец должны проводиться в соответствии с документацией завода-изготовителя или ремонтного предприятия.

**Ф.2.2** Индукционный нагрев бандажного кольца при снятии и насадке должен проводиться до температуры от 200°C до 250°C (если иная не указана в инструкции завода-изготовителя), которую необходимо измерять термопарами не менее, чем в трех точках вдоль верхней зоны кольца. Допускаются бесконтактные методы контроля температуры. Контролировать нагрев оловом или припоем запрещается.

**Ф.2.3** При сборке и разборке бандажных узлов с накидной гайкой запрещается применение различных смазочных материалов для резьбовой части.

#### Ф.3 Проведение осмотра

**Ф.3.1** Бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажного узла очистить с помощью ацетона и наждачной бумаги от грязи, масла, эмали до чистого металла.

**Ф.3.2** Провести визуальный и измерительный контроль поверхности бандажного кольца и вспомогательных элементов визуально и с применением лупы кратностью от  $4^x$  до  $10^x$ . После визуального метода выполняются КД и ВТК всех доступных поверхностей. При этом все истинные линейные индикации или дефекты (не ложные) длиной по поверхности 0,5 мм и более и округлые индикации или дефекты диаметром 0,2 мм и более считать недопустимыми.

При контроле следует учитывать, что наиболее часто на бандажных кольцах и вспомогательных элементах встречаются следующие дефекты:

- трещины, язвы контактной коррозии, подгары и оплавления на посадочной поверхности и носике бандажного кольца;
- язвы и трещины, которые могут поражать любой участок поверхности бандажного кольца или вспомогательного элемента;
- оплавления, подгары и трещины на внутренней и наружной поверхностях бандажного кольца.

Следует учитывать, что в начальной стадии коррозионное растрескивание проявляется в виде коррозионных язв, чаще всего концентрирующихся на внутренней поверхности в местах наиболее вероятной конденсации влаги, например, по местам стыков сегментов подбандажной изоляции, в резьбовых соединениях, по границам контакта с зубцами ротора и др. Признаки общей коррозии при этом, чаще всего, отсутствуют. Под язвами, подгарами, оплавлениями, как правило, имеются трещины.

После выполнения контроля проверить натяги бандажных колец на бочку ротора и центрирующие кольца в соответствии с чертежами бандажного узла. При наличии отклонений способы восстановления натягов или замену элементов бандажного узла согласовать со специализированной организацией.

**Ф.3.3** При осмотре накладных гаек и резьбовой части бандажных колец следует учитывать, что возникающие в них трещины могут ориентироваться как в тангенциальном, так и в аксиальном направлениях. Особое внимание следует уделять осмотру и последующему контролю мест перехода от резьбовой части к конической.

**Ф.3.4** Все обнаруженные при контроле дефекты зафиксировать, затем произвести их удаление, руководствуясь положениями подраздела Ф.4. Устранение дефектов бандажных колец из титановых и алюминиевых сплавов должно выполняться в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя или специализированной организации. В отдельных случаях допускается эксплуатация бандажных колец с выборками, превышающими требования подраздела Ф.4, при выполнении расчета на прочность с учетом натяга, центробежных сил, собственных масс и других значимых факторов.

Полноту удаления местных дефектов, помимо ВК, дополнительно контролировать при помощи не менее двух поверхностных методов неразрушающего контроля.

**Ф.3.5** Применяемые для контроля методы должны обеспечивать выявление трещин шириной раскрытия от 1 до 2 мкм. Для обнаружения коррозионного растрескивания выполнять дефектоскопию внутренней и наружной поверхностей бандажных колец и вспомогательных элементов методом капиллярной дефектоскопии и методом вихревых токов в сочетании с металлографическим анализом на бандажных кольцах из аустенитных сталей. Металлографический анализ на титановых и алюминиевых элементах бандажного узла допускается не выполнять. Металлографический анализ использовать в целях исключения всех сомнительных случаев. Предпочтительно применение сочетания метода вихревых

токов и капиллярной дефектоскопии, так как капиллярный метод не выявляет коррозионные трещины на ранней стадии их развития, а вихретоковый метод имеет чрезмерную трудоемкость на участках со сложной геометрией (краевой эффект, увод, отрыв и т.п.).

Металлографические шлифы травить раствором азотной кислоты в этиловом спирте концентрацией от 10 % до 15%. Участок травления ограничить пластилином, надежно предотвратив растекание раствора за пределы шлифа. Продолжительность травления не должна превышать 5 минут.

После травления участок нейтрализовать 10 % - ным раствором соды, тщательно промыть водой и просушить.

Для просмотра шлифов использовать микроскопы или лупы с кратностью увеличения от 20<sup>x</sup> до 30<sup>x</sup>.

По окончании металлографического контроля поверхность шлифов зачистить до полного удаления следов травления.

**Ф.3.6** Отметить участки, на которых при дефектоскопии всей поверхности выявлены дефекты, и произвести их удаление, руководствуясь положениями раздела Ф.4.

Устранение дефектов бандажных колец из титановых и алюминиевых сплавов должно выполняться в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя или специализированной организации.

Полноту удаления дефектов контролировать в соответствии с подпунктами Ф.3.4 и Ф.3.5.

## **Ф.4 Устранение дефектов**

**Ф.4.1** Дефекты, обнаруженные на поверхности бандажных колец, в зависимости от их количества и степени распространения могут быть удалены общей проточкой, кольцевой проточкой, местной зачисткой шлифовальным камнем или лепестковым кругом.

С помощью шлифовального камня и лепестковых кругов удалить отдельные оплавления, подгары, язвины, одиночные трещины и небольшие группы трещин, а также механические повреждения. Выборки должны иметь плавный переход к основной поверхности. Полноту удаления дефектов контролировать в соответствии с Ф.3.4 и Ф.3.5.

**Ф.4.2** Глубина и площадь местных выборок на бандажных кольцах из аустенитных сталей не должны превышать значений, указанных в таблице Ф.1

**Ф.4.3** Общая проточка бандажного кольца проводится для удаления сети коррозионных трещин.

Наибольшая допустимая суммарная глубина общей проточки на сторону (относительно размеров, указанных на чертежах заводов-изготовителей) не должна превышать значений, указанных в таблице Ф.2

**Ф.4.4** Значительные дефекты на наружной поверхности бандажных колец из аустенитных сталей допускается устранять с помощью кольцевых проточек глубиной до 3 мм и шириной до 40 мм с плавными переходами к основной

поверхности. Такие проточки должны располагаться на расстоянии не менее 50 мм от края посадки.

**Таблица Ф.1 – параметры выборок**

| Поверхность бандажного кольца | Мощность турбоагрегата  | Глубина местной выборки (мм) | Площадь местных выборок, мм <sup>2</sup> |                               |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|
|                               |                         |                              | на один дефект                           | суммарная на одну поверхность |
| Посадочные                    | До 120 МВт включительно | 4                            | 1000                                     | 4000                          |
|                               | Более 120 МВт           | 3                            | 1000                                     | 3000                          |
| Непосадочные                  | До 120 МВт включительно | 6                            | 4000                                     | 20000                         |
|                               | Более 120 МВт           | 4,5                          | 4000                                     | 10000                         |
| Торцевые                      | До 120 МВт включительно | 5                            | 4000                                     | 10000                         |
|                               | Более 120 МВт           | 4                            | 4000                                     | 10000                         |

**Таблица Ф.2 – параметры проточки**

| Поверхность бандажного кольца                                                                                             | Мощность и тип турбоагрегата                                         | Глубина общей проточки на сторону, мм                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Посадочная на бочку ротора                                                                                                | Серии ТГВ                                                            | До размеров, при которых остаточный натяг составит не менее следующих величин:<br>ТГВ-200, ТГВ-200М, ТГВ-300 - 1,79;<br>ТГВ-220-2П - 1,89;<br>ТГВ-500 - 1,97 |
|                                                                                                                           | Других типов с консольной посадкой бандажных колец                   | По согласованию с заводом-изготовителем                                                                                                                      |
| Посадочная на бочку ротора через изолирующую прокладку:<br>- заводская конструкция<br><br>- модернизированная конструкция | Независимо от мощности                                               | 3<br><br>По согласованию с заводом-изготовителем                                                                                                             |
|                                                                                                                           |                                                                      |                                                                                                                                                              |
| Посадочная на центрирующее кольцо                                                                                         | До 120 МВт включительно                                              | 5                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                           | Более 120 МВт                                                        | 3                                                                                                                                                            |
| Непосадочная                                                                                                              | До 120 МВт включительно                                              | 4                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                           | Более 120 МВт с посадкой на бочку ротора через изолирующую прокладку | 2                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                           | Остальные турбоагрегаты                                              | 1                                                                                                                                                            |
| Торцевые                                                                                                                  | Независимо от мощности                                               | 2                                                                                                                                                            |

**Ф.4.5** После проточки необходимо провести повторный контроль бандажного кольца в соответствии с первоначальным расположением дефектов и Ф.3.5. В сомнительных случаях может быть назначен металлографический контроль по Ф.3.5 отдельных участков, определяемых лабораторией металлов, выполняющей контроль.

**Ф.4.6** Общие и кольцевые проточки бандажных колец, а также глубина, площадь и количество выборок в случаях, не оговоренных настоящим стандартом, выполняются по согласованию с заводами-изготовителями или специализированной организацией. По согласованию с заводами-изготовителями или специализированной организацией допускается модернизация бандажных колец в качестве альтернативы замене.

**Ф.4.7** После общей проточки на посадочных поверхностях должны быть восстановлены натяги, указанные на чертежах:

- при посадке бандажного кольца на бочку ротора через изолирующую прокладку - за счет утолщения изолирующей прокладки;
- при посадке бандажного кольца на центрирующее кольцо: если глубина проточки бандажного кольца не превышает 0,5 мм на сторону - прокладкой стальной фольги;
- если глубина проточки бандажного кольца более 0,5 мм на сторону - заменой центрирующего кольца или установкой промежуточного кольца, закрепленного на основном кольце.

Применяемые материалы и способы восстановления натягов должны быть согласованы с заводами-изготовителями или специализированной организацией.

**Ф.4.8** Заполнение зазора, образовавшегося после общей проточки внутренней непосадочной поверхности, проводится листами необходимого стеклотекстолита в два и более слоев по толщине. Листы стеклотекстолита укладываются между верхним и нижним слоями подбандажной изоляции.

При общей проточке поверхности кольца над демпферной гребенкой заполнение зазора осуществляется медной фольгой, устанавливаемой между слоями "гребенки", или листами стеклотекстолита, устанавливаемыми под нижний слой «гребенки».

**Ф.4.9** Дефекты, обнаруженные на накидной гайке, удаляются местной зачисткой вулканитовым шлифовальным камнем или лепестковыми наждачными кругами до глубины не более 0,5 мм, площадью не более 3000 мм<sup>2</sup>. Способ устранения дефектов глубиной более 0,5 мм выбирается по согласованию с заводом-изготовителем.

**Ф.4.10** Выполненные из коррозионнонестойкой стали бандажные кольца и вспомогательные элементы бандажных узлов должны быть покрыты защитной эмалью.

## Ф.5 Допуск колец к эксплуатации

**Ф.5.1** К дальнейшей эксплуатации следует допускать бандажные, защитные кольца и накидные гайки, на которых дефекты отсутствуют или устранены во время ремонта, выполненного в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

**Ф.5.2** Забракованные бандажные, защитные кольца и накидные гайки необходимо заменить. При замене предпочтение следует отдавать деталям, изготовленным из коррозионностойкой стали и титановых сплавов. Бандажные кольца и элементы бандажных узлов из алюминиевых сплавов меняются на аналогичные. Забракованные бандажные кольца хранить с целью возможного их использования при модернизации других бандажных узлов.

**Ф.5.3** При выполнении расчетов бандажных колец и при отсутствии достоверных данных о действительных натягах следует руководствоваться таблицей Ф.3

**Таблица Ф.3**

| Тип генератора                                                         | Величина натяга и сочленения, мм |                                      |                                |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
|                                                                        | Бандажное кольцо-бочка ротора    | Бандажное кольцо-центрирующее кольцо | Центрирующее кольцо-вал ротора |
| T2-25-2; ТВ2-30-2                                                      | от 1,2 до 1,07                   | от 1,3 до 1,17                       | от 0,45 до 0,35                |
| ТВС - 30                                                               | -                                | от 1,1 до 0,97                       | от 0,45 до 0,385               |
| ТВ-50-2; ТВ-60-2<br>(Z-образное центр. кольцо)                         | от 1,9 до 1,755                  | от 1,6 до 1,455                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВФ-60-2; ТВФ-63-2                                                     | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВФ-100-2; ТВФ-120-2                                                   | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВВ-165-2                                                              | от 1,8 до 1,655                  | от 1,5 до 1,355                      | от 0,7 до 0,585                |
| ТВВ-320-2                                                              | от 2,4 до 2,24                   | от 2,2 до 2,055                      | -                              |
| *Примечание - Для других типов генераторов - согласно заводским данным |                                  |                                      |                                |

## Приложение Х. Неразрушающий контроль вентиляторов турбоагрегатов.

### Х.1 Назначение

**Х.1.1** Настоящими требованиями следует руководствоваться при проведении осмотров вентиляторов, лопаток вентиляторов и вспомогательных, элементов вентиляторов турбоагрегатов всех типов, находящихся в эксплуатации.

**Х.1.2** Неразрушающий контроль вентиляторов и их вспомогательных элементов проводится специалистами лабораторий металлов электростанций, энергосистем и ремонтных предприятий.

**Х.1.3** Ремонт вентиляторов и деталей вентиляторов выполняется специально подготовленным персоналом электростанций или ремонтных предприятий с контролем наличия трещин специалистами лабораторий металлов.

**Х.1.4** Периодичность неразрушающего контроля вентилятора со снятием и разборкой устанавливается в соответствии с разделом 10.

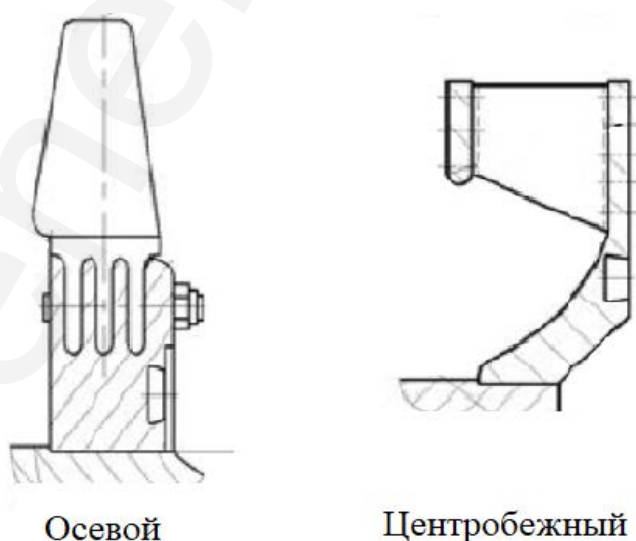
### Х.2 Снятие и разборка вентилятора и вспомогательных элементов

**Х.2.1** Операции по снятию, разборке, сборке и насадке вентилятора должны проводиться в соответствии с документацией завода-изготовителя или ремонтного предприятия.

**Х.2.2** Снятие и установка ступиц вентилятора проводится при равномерном нагревании и температуре, установленной заводом изготовителем или ремонтным предприятием.

**Х.2.3** Лопатки осевого вентилятора перед проведением неразрушающего контроля демонтируются с вентилятора. Лопатки центробежного вентилятора демонтируются с рабочим колесом.

**Х.2.4** Лопатки и шпильки конические разбираются и собираются, строго соблюдая маркировку.



**Рисунок Х.1 – Вентилятор генератора.**

### **Х.3 Осмотр и неразрушающий контроль элементов вентилятора**

**Х.3.1** Рабочая поверхность лопаток, ступицы, отверстий под крепления обтекателя вентилятора, гаек корончатых и шпилек конических очищается от всех видов загрязнений и масляных остатков.

**Х.3.2** Лопатки осевых вентиляторов очищаются до металлического блеска в месте перехода от пера лопатки к основанию с шириной зоны зачистки от радиусного перехода не менее 20 мм.

**Х.3.3** На лопатках центробежных вентиляторов зачистке подвергаются сварные соединения с шириной зоны зачистки не менее 20 мм от края шва.

**Х.3.4** Ступицы вентиляторов подвергаются зачистке до металлического блеска 100% поверхности.

**Х.3.5** Лопатки вентилятора, ступицы, посадочное место ротора под ступицу вентилятора, гайки корончатые и шпильки конические подвергаются осмотру и визуальному контролю с помощью лупы с 4-кратным увеличением на 100% поверхности в доступных местах. Во всех сомнительных случаях выполнять не менее двух дополнительных поверхностных методов неразрушающего контроля.

**Х.3.6** Места перехода от пера лопаток к основанию, сварные соединения лопаток и 100% поверхностей ступиц, поверхности отверстий под крепления обтекателя вентилятора подвергаются капиллярному контролю или вихретоковому контролю или магнитопорошковому контролю.

**Х.3.7** Лопатки и сварные соединения лопаток центробежных вентиляторов не должны иметь трещин, цепочек пор, пор или раковин диаметром и глубиной более 1 мм механических повреждений глубиной более 1 мм.

**Х.3.8** На лопатках осевых вентиляторов не допускаются следующие дефекты:  
- «следы» от моделей или местные раковины на поверхности глубиной более 2 мм и единичные наплывы металла высотой более 2 мм на необрабатываемых частях лопаток;

- одиночные поры и раковины диаметром и глубиной более 2 мм и сосредоточенные поры и раковины диаметром и глубиной более 1 мм на необрабатываемых частях лопаток;

- трещины и неслитины, распространяющиеся в глубь металла, в основном в местах перехода пера в основание лопатки;

- следы эрозионного износа игольчатой формы на набегающей кромке пера от воздействия паров и капель влаги и масла;

- механические забоины и сколы по кромке пера, превышающие 3 мм в глубину тела пера, а также деформации перьев лопаток, нанесенные посторонним предметом.

**Х.3.9** Шпильки конические, гайки корончатые не должны иметь трещин всех видов и направлений. Шпильки конические и гайки корончатые подвергаются визуальному контролю 100 % поверхности. В сомнительных случаях используется капиллярный контроль.

**Х.3.10** На ступицах вентиляторов не допускаются:

- трещины и трещиноподобные дефекты всех видов и направлений;

## СТП ХХХХ.ХХ.430-ХХ

- механические повреждения и сколы на любых поверхностях, превышающие 3 мм в глубину тела;

- любые несплошности с линейным размером более 0,5 мм или глубиной более 0,5 мм на посадочной поверхности ступицы на ротор.

**Х.3.11** На отверстиях креплений обтекателя вентилятора (Рисунок Х.2) и на расстоянии не менее диаметра отверстия не допускаются трещины всех видов и направлений. Отверстия подвергаются визуальному контролю и капиллярному контролю.

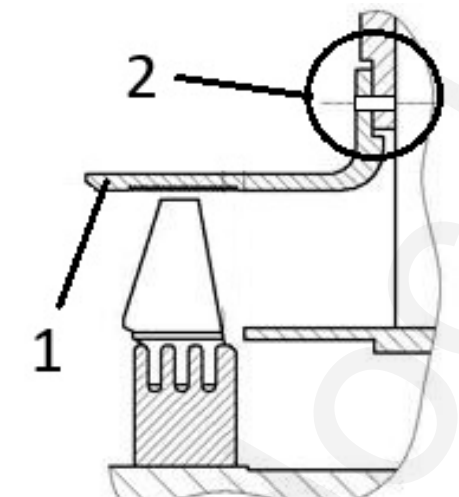


Рисунок Х.2 1- Обтекатель осевого вентилятора, 2 – зона контроля

### Х.4 Устранение дефектов

**Х.4.1** С помощью шлифовального круга удаляются дефекты, указанные в п.п. У.3.7 и У.3.8 настоящего стандарта.

**Х.4.2** Выборки металла должны иметь плавный переход к основной поверхности, радиус перехода должен быть не менее 8 мм.

**Х.4.3** Наибольшая допустимая глубина выборок металла на рабочей поверхности лопаток (включая и место перехода пера в основание) в направлении, нормальном к поверхности, не должна превышать 6 мм. При этом местное утончение пера лопатки не должно превышать половины его толщины, указанной на чертеже, а общая площадь выбранного металла в любом сечении лопатки, параллельном ее основанию, не должна быть более 3 см<sup>2</sup>.

**Х.4.4** Глубина выборок металла в основании лопатки и в местах перехода набегающей и сбегающей кромок пера в основание не должна превышать 8 мм.

**Х.4.5** Глубина выборок и возможность устранения дефектов путем выборок на ступицах вентиляторов и на обтекателях вентиляторов устанавливаются заводом изготовителем либо специализированной или ремонтной организацией.

**Х.4.6** Поверхности выбранных участков обрабатываются с чистотой поверхности 5-го класса (Rz - 20 мкм), после чего проводится цветная дефектоскопия.

**Х.4.7** Шпильки конические и гайки корончатые при обнаружении трещин подлежат замене

**Х.4.8** Сварные соединения после устранения дефектов подлежат обязательному восстановлению исходной геометрии.

**Х.4.9** Все обнаруженные при контроле дефекты фиксируются, затем производится их удаление.

**Х.4.10** После удаления выявленных дефектов проводится повторный контроль.

## **Х.5 Допуск вентиляторов к эксплуатации**

**Х.5.1** К дальнейшей эксплуатации допускаются элементы вентиляторов, на которых дефекты отсутствуют или устранены во время ремонта, выполненного в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

**Х.5.2** При невозможности устранения недопустимых дефектов элементы вентилятора подлежат замене. В отдельных случаях по рекомендациям завода-изготовителя либо ремонтной или специализированной организации допускается кратковременная разовая эксплуатация элементов вентилятора с имеющимися несоответствиями.

## **Х.6 Допуск вентиляторов к эксплуатации при контроле без снятия элементов вентилятора и в доступных местах.**

**Х.6.1** При проведении неразрушающего контроля без снятия элементов вентилятора в доступных местах по п.п. 10.3.9 в отчетной документации перечислить и указать проконтролированные зоны и зоны недоступные для контроля.

**Х.6.2** Перед началом неразрушающего контроля в доступных местах без снятия элементов вентилятора у эксплуатирующей организации запрашивается техническое решение на производство работ без снятия. Самовольное выполнение неразрушающего контроля на элементах вентилятора без снятия элементов при отсутствии технического решения не допускается.

**Х.6.3** Техническое решение на выполнение неразрушающего контроля без снятия элементов вентилятора прикладывается к протоколам неразрушающего контроля.

**Х.6.4** Все остальные этапы выполнения неразрушающего контроля выполняются по п.п. Х.1 – Х.5.

## Приложение III Инструкция по проведению ультразвукового контроля крепежа энергооборудования

### III.1 Общие положения

**III.1.1** Настоящая Инструкция распространяется на шпильки цилиндрической формы (со сверлением и без сверления) задвижек, клапанов, фланцевых соединений, роторов паровых турбин, роторов компрессоров и корпусов цилиндров, имеющих диаметр 30 мм и более и изготовленных из сталей перлитного класса. Контроль шпилек из аустенитных сталей допускается выполнять в соответствии с настоящей методикой, при низком уровне структурных помех (соотношение сигнал/шум более 12 дБ), либо при понижении частоты используемых ПЭП до 1,8 МГц с целью уменьшения структурных помех до допустимых значений и при сохранении прочих условий методики.

Основные типоразмеры шпилек:

|                                                                   |          |          |          |
|-------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| M30×180                                                           | M30×200  | M36×170  | M36×205  |
| M36×205                                                           | M36×205  | M36×205  | M36×205  |
| M36×250                                                           | M42×130  | M42×210  | M42×300  |
| M42×175                                                           | M48×400  | M48×335  | M48×225  |
| M48×340                                                           | M48×245  | M52×440  | M52×335  |
| M52×360                                                           | M90×380  | M90×455  | M90×305  |
| M90×330                                                           | M90×300  | M120×685 | M120×430 |
| M120×530                                                          | M140×715 | M140×640 | M100×535 |
| M100×545                                                          | M56×275  | M56×265  | M64×380  |
| M56×310 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 32 мм)   |          |          |          |
| M60×285 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 32 мм)   |          |          |          |
| M64×270                                                           | M64×690  | M76×310  | M76×435  |
| M76×410                                                           | M76×400  | M90×545  | M120×570 |
| M120×515                                                          | M120×594 | M120×640 | M165×875 |
| M76×540 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 20 мм)   |          |          |          |
| M100×1210 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 20 мм) |          |          |          |
| M100×1150 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 20 мм) |          |          |          |
| M140×730 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 10 мм)  |          |          |          |
| M150×1495 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 30 мм) |          |          |          |
| M160×1480 (с внутренним отверстием по всей длине диаметром 30 мм) |          |          |          |

**III.1.2** Инструкция предназначена для УЗК при монтаже и ремонте оборудования с целью выявления поперечных и продольных трещин на поверхности осевого сверления, а также в резьбовой и галтельной частях шпилек. Тип и характер несплошностей по результатам УЗК не определяются. Оценку допустимости проводят по амплитуде эхо-сигнала и по количеству одиночных несплошностей.

**III.1.3** К выполнению УЗК крепежа согласно настоящей Инструкции допускаются дефектоскописты, имеющие квалификацию не ниже 2-го уровня и прошедшие специальную подготовку.

**III.1.4** При УЗК выявляются несплошности с отражательной способностью эквивалентной искусственным отражателям типа паз, отверстие или плоскодонные

отражатели. При превышении амплитуды эхо-сигнала выше контрольного уровня чувствительности измеряется условная протяженность выявленной несплошности и сравнивается с условной протяженностью соответствующего отражателя.

## **Ш.2. Аппаратура контроля**

**Ш.2.1** При УЗК шпилек применяются ультразвуковые дефектоскопы общего назначения, с комплектом преобразователей, кабели соединительные и комплект образцов по ГОСТ 14782.

**Ш.2.2** Применяемые дефектоскопы должны иметь паспорт, свидетельство об утверждении типа средства измерения, свидетельство о поверке, руководство или инструкцию по эксплуатации. Дефектоскопы должны иметь погрешность измерения амплитуды эхо-сигналов не более 0,5 дБ, погрешность измерения координат не более 0,5 мм, и возможность сохранения и передачи осциллограмм (экран с показаниями прибора).

**Ш.2.3** Для контроля используются следующие ПЭП:

- прямые на частоту от 2,0 МГц до 5 МГц;
- наклонные на частоту от 2,0 до 2,5 МГц с углом наклона 40° и 50°.

**Ш.2.4** Прямые ПЭП должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- отклонение акустической оси от нормали к контактной поверхности ПЭП не должно превышать 2°;
- ширина основного лепестка диаграммы направленности ( $D_n$ ) на уровне  $0,5A_{\text{макс}}$  должна составлять в режиме излучения  $12^\circ \pm 30'$  для ПЭП с частотой 5 МГц и  $14^\circ \pm 30'$  для ПЭП с частотой 2,5 МГц.

Методика проверки характеристик прямых ПЭП приведена в разделе Ш.7.

Наклонные ПЭП должны удовлетворять требованиям ГОСТ 14782 и обеспечивать выявление контрольных отражателей в испытательных образцах на заданном уровне чувствительности.

**Ш.2.5** Перед контролем проводится настройка дефектоскопа.

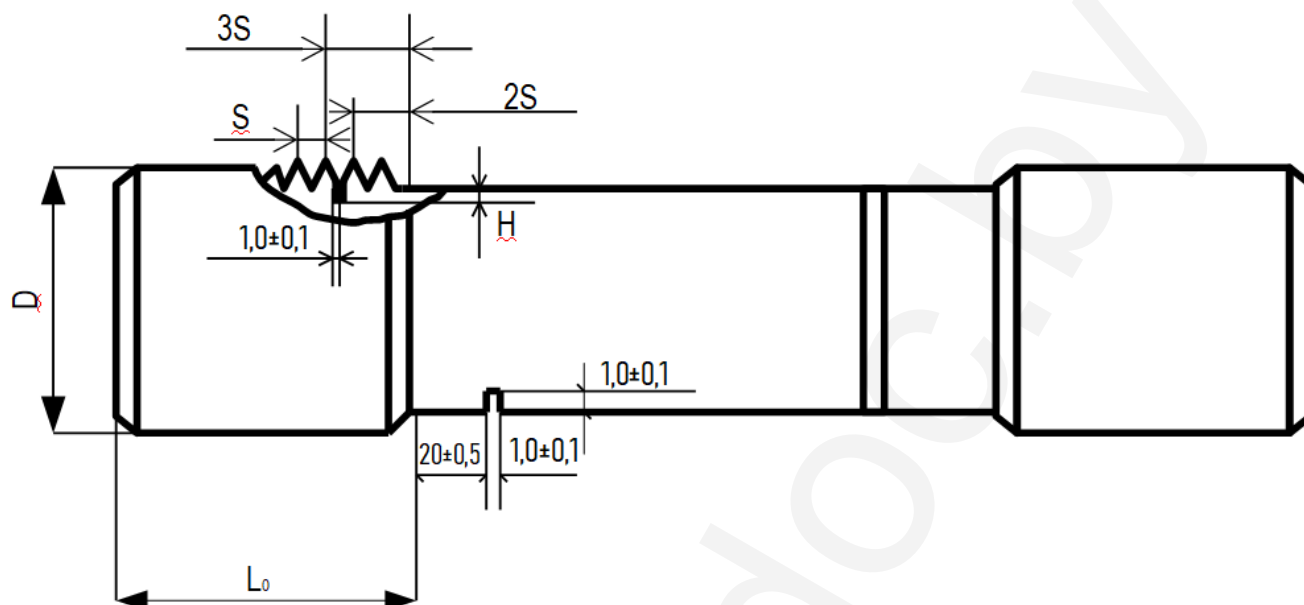
Настройка скорости развертки, глубиномера и чувствительности дефектоскопа проводится согласно инструкции по эксплуатации дефектоскопа с использованием стандартного образца № 2 по ГОСТ 14782 и испытательных образцов (рис. Ш.1 и Ш.2), изготовленных из штатных шпилек того же типоразмера.

**Ш.2.6** Качество поверхности испытательных образцов должно соответствовать качеству поверхности контролируемой шпильки.

**Ш.2.7** Все испытательные образцы должны быть проверены и зарегистрированы в специальном журнале.

**Ш.2.8** Проверка испытательного образца включает в себя оценку чистоты рабочей поверхности, отклонений размеров образца; и контрольных отражателей от номинальных значений. Каждый образец должен иметь клеймо, содержащее номер, типоразмер и марку стали образца.

**Ш.2.9** Оценка чистоты рабочей поверхности испытательного образца может проводиться визуально в соответствии с требованиями ГОСТ 2789. Параметры образца и контрольных отражателей определяются с помощью штангенциркуля и угломера методом свинцового слепка, с применением измерительных микроскопов или другими методами, обеспечивающими требуемую точность измерений.



**Рисунок Ш.1 – Испытательный образец для настройки развертки и чувствительности дефектоскопа**

**Таблица Ш.1**

| Диаметр D контролируемой шпильки, мм | Тип резьбы | L <sub>0</sub> мм, не менее | H, мм   |
|--------------------------------------|------------|-----------------------------|---------|
| 30                                   | M30        | 60                          | 1,5±0,1 |
| 36 - 12                              | M42        | 60                          | 1,5±0,1 |
| 48 - 56                              | M56        | 90                          | 1,5±0,1 |
| 60 - 64                              | M64        | 90                          | 1,5±0,1 |
| 76                                   | M76        | 120                         | 1,2±0,1 |
| 90 - 100                             | M100       | 190                         | 1,0±0,1 |
| 120 - 140                            | M120       | 190                         | 1,0±0,1 |
| 150 - 165                            | M160       | 190                         | 1,0±0,1 |

**Примечание:** Заготовка для испытательного образца - шпилька по ГОСТ 20700.

**Ш.2.10** Проверка испытательных образцов должна проводиться не реже одного раза в год, о чем делается соответствующая запись в журнале с указанием фамилии проверяющего. Проверка испытательных образцов выполняется лицом, ответственным за состоянием средств контроля.

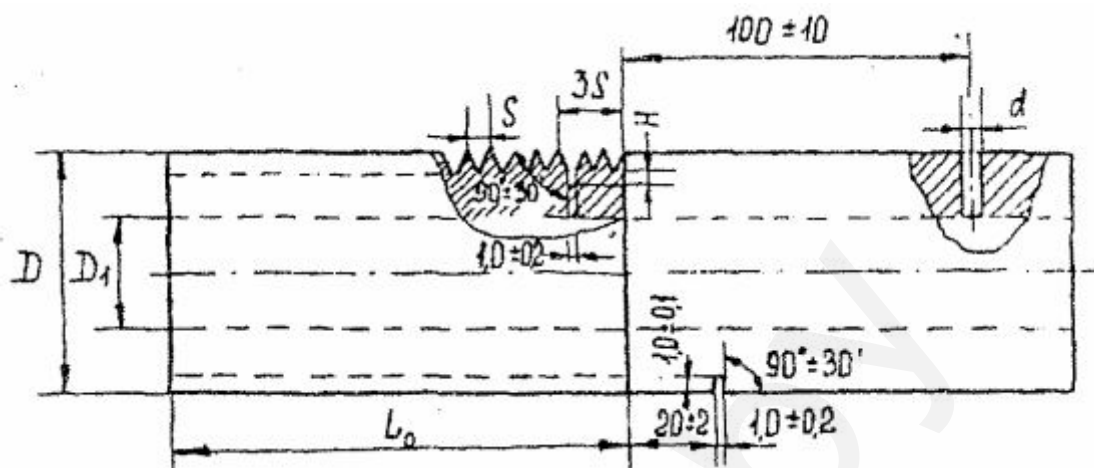


Рисунок Ш.2. Испытательный образец для настройки скорости развертки и чувствительности дефектоскопа при контроле шпилек с осевым сверлением:

| D, мм             | Толщина (D-D <sub>1</sub> )/2, мм | H, мм   | d, мм |
|-------------------|-----------------------------------|---------|-------|
| До 64 вкл.        | До 30 вкл.                        | 1,5±0,1 | 2     |
| Св. 64 до 90 вкл. | Св. 30 до 40 вкл.                 | 1,2±0,1 | 3     |
| Св. 90            | Св. 40                            | 1,0±0,1 | 4     |

### 3. Подготовка к контролю

**Ш.3.1** Места контроля должны быть подготовлены заблаговременно. При проведении контроля температура металла на поверхности контролируемого изделия и окружающего воздуха должна быть в пределах от 5 до 40 °С.

**Ш.3.2** Для проведения контроля торец шпильки и нее другие контролируемые участки должны быть зачищены от окалины, ржавчины, забоин и неровностей до чистоты не хуже  $R_z = 40$  мкм по ГОСТ 2789, плоскость торца шпильки должна быть проверена на перпендикулярность к оси шпильки с помощью угломера. Отклонение торца от нормали к образующей шпильки не должно превышать 2°, в противном случае шпильку следует отторцевать.

**Ш.3.3** При контроле шпилек, имеющих осевое сверление, последнее необходимо проверить на наличие несоосности, для чего следует проводить визуальный осмотр сверления с применением оптических средств.

**Ш.3.4** Перед проведением УЗК шпилька подвергается визуальному контролю с целью обнаружения поверхностных трещин в резьбовой и гладкой частях.

При визуальном контроле рекомендуется применять оптические средства с увеличением в 3–7 раз.

**Ш.3.5** В качестве контактной смазки применяют вязкие жидкости на основе целлюлозы, глицерина или масла, не вызывающие коррозию. При контроле со стороны гладкой части шпилек диаметром менее 60 мм рекомендуется применять более вязкие жидкости, не стекающие с поверхности под собственным весом.

**Ш.3.6** При контроле со стороны гладкой части шпилек диаметром до 100 мм наклонные ПЭП необходимо притереть. Радиус кривизны рабочей

## **СТП XXXX.XX.430-XX**

поверхности ПЭП должен быть на 5 % больше номинального радиуса испытательного образца.

### **Ш.4. Проведение контроля**

#### **Ш.4.1** Зонами УЗК являются:

- резьбовая часть шпильки (преимущественно первые витки от сбега резьбы на гладкую часть) и область галтельного перехода при контроле прямым ПЭП со стороны торца, прилегающего к резьбовой части, по обнаружению поперечных трещин на внутренней и наружной поверхностях шпильки;

- область сбега резьбы на гладкую часть (первые 6-7 витков резьбы) и галтельный переход при контроле наклонным ПЭП со стороны гладкой части по выявлению поперечных трещин на наружной поверхности шпильки;

- поверхность осевого сверления в области несоосности при контроле наклонным ПЭП со стороны гладкой части по выявлению поперечных трещин;

- наружная и внутренняя поверхности шпильки при контроле специальным ПЭП по выявлению продольных трещин. Методика контроля по выявлению продольных трещин изложена в разделе Ш.8.

**Ш.4.2** При невозможности удалить шпильку из гнезда или при невозможности размещения ПЭП на торце (разделка торца шпильки под квадрат и др.) контроль резьбовой части и галтельного перехода осуществляется только наклонным ПЭП со стороны гладкой части. Невозможность удаления шпильки из гнезда оформляется актом.

**Ш.4.3** Включение прибора и установление режимов его работы производятся в соответствии с

инструкцией по его эксплуатации. Правильность настройки чувствительности и скорости развертки проверяется каждые 30 мин работы.

**Ш.4.4** При проведении контроля используются три уровня чувствительности: поисковый, контрольный и браковочный.

Браковочный уровень определяется при настройке чувствительности прибора по максимальной амплитуде эхо-сигнала от отражателя типа пропил в испытательном образце и должен составлять 80% высоты экрана при значении 0 дБ.

Контрольный уровень устанавливается ниже браковочного на 6 дБ.

Поисковый уровень устанавливается ниже контрольного на 6 дБ, но он должен превышать уровень помех (эхо-сигналы от резьбы при контроле прямым ПЭП) не менее чем на 1 дБ. С целью избавления от фактора помех допускается повышать поисковый уровень чувствительности до контрольного. Точность настройки прибора проверяется тремя последовательными измерениями. Шаг сканирования при проведении контроля не должен превышать половины диаметра пьезопластины.

**Ш.4.5** Контроль резьбового участка шпильки и галтельного перехода прямым ПЭП:

**Ш.4.5.1** Резьбовой участок шпильки и галтельный переход контролируются прямым ПЭП на частоту от 2,0 МГц до 2,5 МГц со стороны торца, прилежащего к резьбовому участку. Для шпилек диаметром до 70 мм включительно допускается использование ПЭП на частоту от 4,0 МГц до 5,0 МГц.

**Ш.4.5.2** Длительность развертки дефектоскопа при контроле шпильки с длиной резьбовой части  $L_0$  определяется положением зондирующего сигнала с одной стороны и координатой, соответствующей значению глубины отражателя  $L_0 + 20$  мм. Допускается настраивать рабочую зону развертки с применением надреза в гладкой части шпильки (см. рис. 1 и 3).

**Ш.4.5.3** Настройка чувствительности приводится по надрезу между 2-м и 3-м витками сбегу резьбы на гладкую часть (рисунок Ш.1). Амплитуда эхо-сигнала от надреза устанавливается на значение, соответствующее браковочному уровню чувствительности.

**Ш.4.5.4** Резьбовые участки шпильки контролируют путем сканирования прямым ПЭП по окружности на торцевой части. При этом более тщательно следует проводить сканирование по краям торца, так как максимальный сигнал от поперечной трещины, развивающейся в резьбовой части, наблюдается тогда, когда часть контактной поверхности ПЭП выходит из торца шпильки.

**Ш.4.5.5** При контроле шпилек, имеющих осевое сверление, следует более тщательно сканировать ПЭП по окружности осевого сверления, располагая ПЭП таким образом, чтобы часть его поверхности выходила за поверхность сверления. Такой контроль позволяет обнаружить поперечные трещины, выходящие на поверхность сверления (рисунок Ш.3).

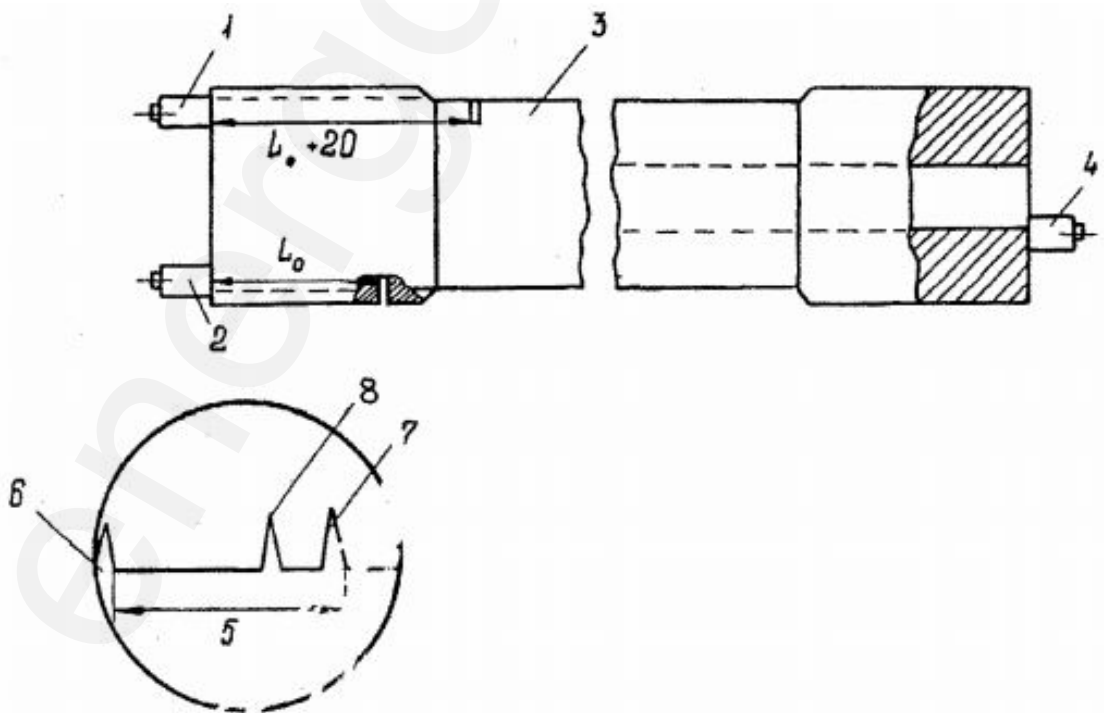


Рисунок Ш.3. Схема настройки скорости развертки и чувствительности дефектоскопа при контроле резьбовых участков шпильки:

1- положение ПЭП при настройке скорости развертки; 2- положение ПЭП при настройке чувствительности; 3- испытательный образец (см. рис. 1); 4- положение ПЭП

## СТП XXXX.XX.430-XX

при контроле шпильки с осевым сверлением; 5- зондирующий сигнал; 6- рабочая зона; 7, 8- сигналы при установке ПЭП в положения 1 и 2 соответственно

**Ш.4.5.6** Признаком дефекта является наличие в рабочей зоне развертки эхо-сигнала, амплитуда которого превышает контрольный уровень чувствительности.

**Ш.4.5.7** Если амплитуда от дефекта больше браковочного уровня, дефект считается недопустимым (брак).

**Ш.4.6** Контроль резьбового участка и галтельного перехода со стороны гладкой части шпильки без осевого сверления:

**Ш.4.6.1** Контроль проводится с целью обнаружения дефектов в области галтельного перехода и на участке резьбы, прилегающей к галтельному переходу.

**Ш.4.6.2** Контроль выполняется наклонным ПЭП на частоту 2,5 МГц. Углы наклона ПЭП выбираются из условия получения четко разделяющихся сигналов от различных витков резьбы, что возможно при нормальном падении ультразвука на отражающую поверхность резьбового участка. Углы наклона приведены в таблице Ш.2.

Таблица Ш.2

| Диаметр шпильки<br>D, мм | Диаметр осевого<br>сверления, D <sub>1</sub> , мм | Угол призмы,<br>град | Схема прозвучивания         | Примеч. |
|--------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---------|
| До 42 вкл.               | Отсутствует                                       | 50                   | Прямым лучом                |         |
| Св. 42 до 64 вкл.        | “                                                 | 50                   | “                           |         |
| Св. 42 до 64 вкл.        | Св. 10                                            | 50                   | Однократно отраженным лучом |         |
| Св. 64 до 90 вкл.        | Отсутствует                                       | 40 или 50            | Прямым лучом                |         |
| Св. 64 до 90 вкл.        | Св. 15 до 30 вкл.                                 | 40 или 50            | Однократно отраженным лучом |         |
| Св. 90                   | Отсутствует                                       | 40                   | Прямым лучом                |         |
| Св. 90                   | Св. 20 до 40 вкл.                                 | 40 или 50            | Однократно отраженным лучом |         |

**Ш.4.6.3** Контроль основан на эффекте экранирования трещинной части резьбы, вследствие чего соответствующие сигналы исчезают с экрана дефектоскопа (рисунок Ш.4). Ввиду того, что для шпилек, находившихся в эксплуатации, а особенно для шпилек, контролируемых в невывернутом состоянии, возможно изменение отражательных свойств некоторых участков резьбы, рекомендуется проводить сопоставление результатов контроля прямым и наклонным ПЭП, а для шпилек, контролируемых в невывернутом состоянии (если в них обнаружены дефекты с браковочными признаками), следует повторить контроль после поворота шпильки на 5-10° вокруг оси.

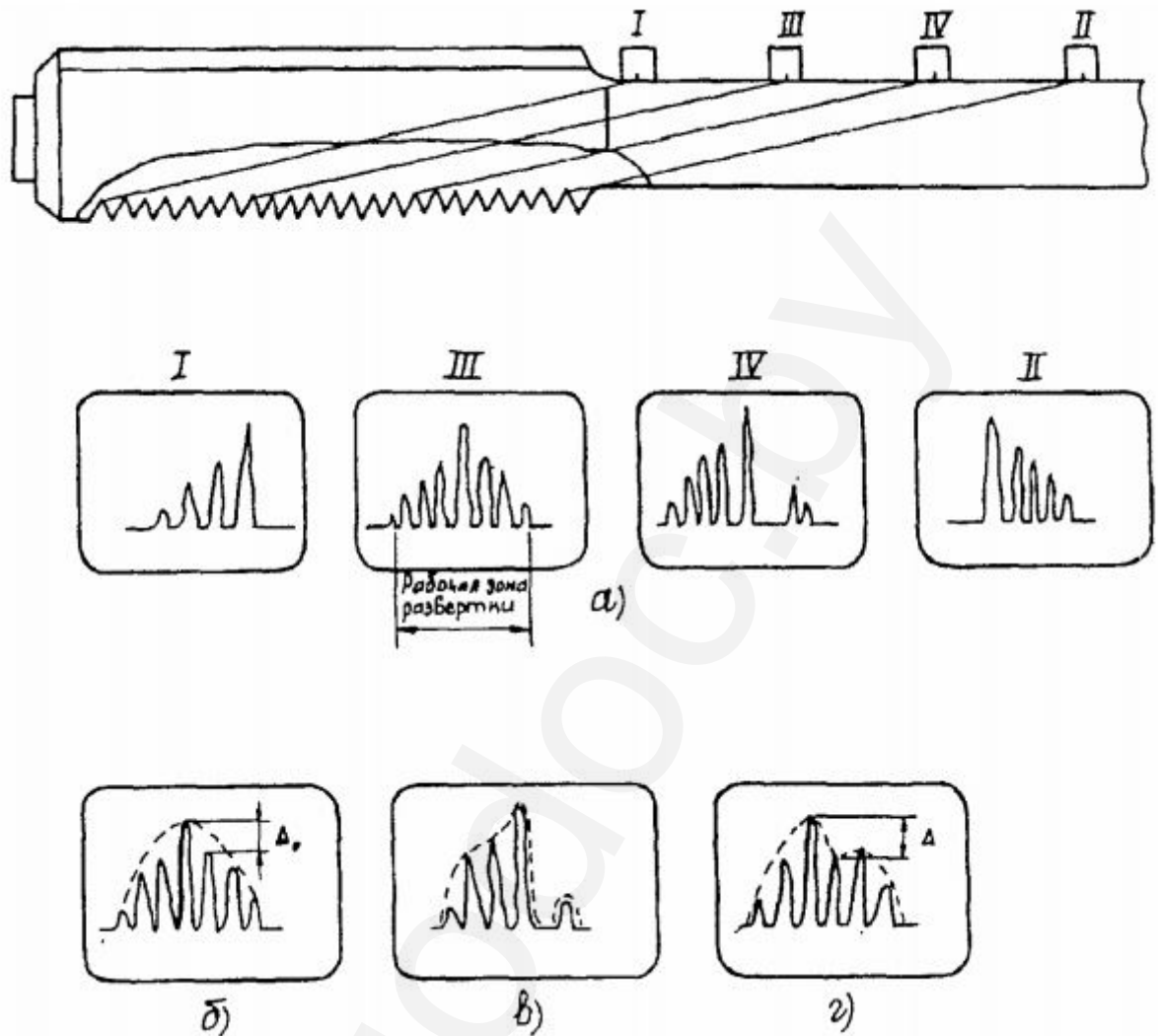


Рисунок Ш.4. Схема контроля шпильки без осевого сверления:  
I-IV - положения ПЭП

**Ш.4.6.4** Настройка скорости развертки проводится дважды: предварительная - по надрезу в испытательном образце, окончательная – по резьбовому участку контролируемой шпильки.

**Ш.4.6.5** Предварительная настройка проводится следующим образом: перемещая ПЭП вдоль образующей испытательного образца, находят максимальный эхо-сигнал от надреза в гладкой части испытательного образца (эхо-сигнал от надреза должен находиться в правой части экрана дефектоскопа).

**Ш.4.6.6** По амплитуде эхо-сигнала от надреза устанавливают поисковый, контрольный и браковочный уровни чувствительности согласно п.п. Ш.4.4.

**Ш.4.6.7** Правильность настройки дефектоскопа проверяется по выявлению надреза на резьбовой части испытательного образца следующим образом:

- устанавливают ПЭП так, чтобы на экране дефектоскопа возникла плавная огибающая эхо-сигнала от витков резьбового участка шпильки (рисунок Ш.4, III);
- определяют ориентировочное значение параметра  $\Delta_0$  для бездефектного участка резьбы (рисунок Ш.4, б);

- изменяют чувствительность дефектоскопа так, чтобы на экране оставались сигналы 6-7 витков резьбы;
- определяют рабочую зону развертки дефектоскопа как зону между двумя крайними сигналами огибающей (рисунок Ш.4, а);
- перемещая ПЭП, располагают его таким образом, чтобы надрез в резьбовой части испытательного образца экранировал следующий за ним виток резьбы;
- перемещая ПЭП перпендикулярно образующей, устанавливают его в положение, соответствующее минимуму экранируемого сигнала;
- перемещая ПЭП вдоль образующей, добиваются того, чтобы сигнал перед провалом в огибающей находился в ее максимуме (рисунок Ш.4, в, г). В найденном положении ПЭП определяют значение параметра  $\Delta$  (рисунок Ш.4, г);
- перемещая ПЭП перпендикулярно образующей, определяют условную протяженность отражателя  $B_0$  как расстояние между положениями, соответствующими восстановлению плавной огибающей (см. рис. 4, а) эхосигналов от резьбы.

Прибор считается настроенным и пригодным для проведения контроля, если значение  $\Delta$  превосходит значение  $\Delta_0$  не менее чем на 5 дБ.

**Ш.4.6.8** При проведении контроля правильность настройки развертки дефектоскопа проверяется путем получения огибающей эхо-сигналов от резьбового участка контролируемой шпильки.

**Ш.4.6.9** Сигналы от резьбы контролируемой шпильки следует располагать в правой части экрана дефектоскопа.

**Ш.4.6.10** Рабочая зона развертки определяется аналогично п.п. Ш.4.6.7 по огибающей эхосигналов для контролируемой шпильки.

**Ш.4.6.11** Контроль галтельного перехода осуществляется на поисковом уровне чувствительности при сканировании ПЭП вдоль образующей шпильки от положения, соответствующего получению эхо-сигнала от сбегу резьбы, до положения, смещенного на 20–30 мм (рисунок Ш.5).

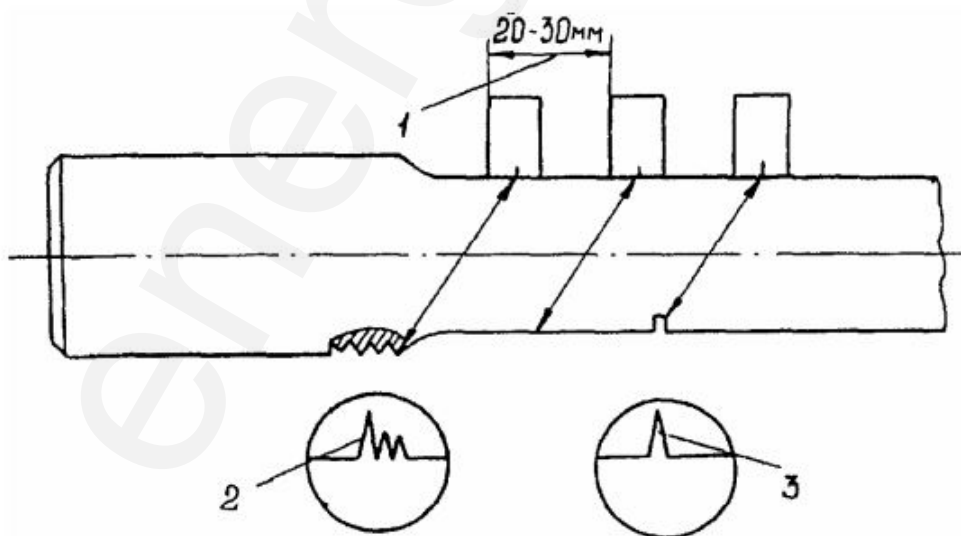


Рисунок Ш.5. Схема контроля галтельного перехода наклонным ПЭГТ:

- 1 - зона сканирования; 2 - сигналы от резьбы;
- 3 - сигнал от дефекта (настроечного отражателя)

**Ш.4.6.12** Признаком дефекта в галтельной части служит появление эхо-сигналов в рабочей зоне развертки дефектоскопа, предшествующих сигналу от первого витка резьбы.

**Ш.4.6.13** Дефект считается недопустимым, если амплитуда эхо-сигнала от него равна или больше браковочного уровня чувствительности.

**Ш.4.6.14** Для контроля резьбового участка уровень чувствительности выбирается таким образом, чтобы на экране оставались сигналы от 6-7 витков резьбы.

**Ш.4.6.15** Контроль осуществляется сканированием ПЭП вдоль образующей шпильки между положениями, соответствующими появлению эхо-сигналов от первых 6-7 витков резьбы. При этом следует избегать попадания в рабочую зону развертки эхо-сигнала от торца шпильки (рисунок Ш.4, а).

**Ш.4.6.16** Признаком дефекта в резьбовой части шпильки является исчезновение эхо-сигналов от одного или нескольких витков резьбы (рисунок Ш.4, в), расположенных в рабочей зоне развертки, или деформация огибающей с образованием провала в области сигнала, следующего за максимальным сигналом огибающей (рисунок Ш.4, г). Если обнаружение провала при сканировании ПЭП вдоль образующей шпильки затруднено вследствие плохого разделения сигналов от различных витков резьбы, рекомендуется проводить сканирование поперек образующей, следя за изменением амплитуд сигналов по экрану дефектоскопа, либо использовать устройства послыного контроля.

**Ш.4.6.17** Оценка степени допустимости дефекта проводится в положении ПЭП, определяемом согласно п.п. Ш.4.6.7.

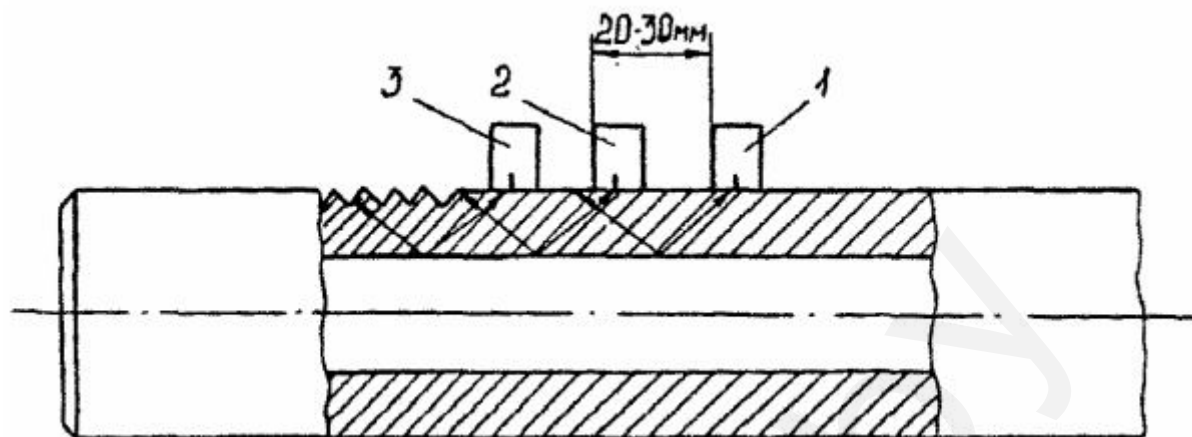
**Ш.4.6.18** Дефект считается недопустимым и шпилька негодной, если значение параметра  $\Delta$  равно или больше 6 дБ при условной протяженности дефекта Б, равной или большей условной протяженности  $B_0$  надреза в резьбовой части испытательного образца, определяемой согласно п.п. Ш.4.6.7. Уровни чувствительности прибора при определении условной протяженности дефекта и надреза в испытательном образце должны быть равны.

**Ш.4.7** Контроль резьбового участка и галтельного перехода шпилек с осевым сверлением:

**Ш.4.7.1** Контроль проводится для выявления трещин в области галтельного перехода и прилегающего к нему участка резьбы.

**Ш.4.7.2** Контроль выполняется наклонным ПЭП на частоту от 2,0 МГц до 2,5 МГц однократно отраженным от поверхности сверления лучом (рисунок Ш.6). Угол призмы ПЭП выбирается согласно таблице Ш.2.

**Ш.4.7.3** Настройка режимов работы дефектоскопа (скорости развертки и чувствительности) проводится по испытательному образцу, изготовленному из шпильки контролируемого диаметра (с таким же диаметром осевого сверления), по надрезам в гладкой и резьбовой частях шпильки аналогично п. 4.6. Глубина, местоположение и другие характеристики надрезов такие же, как в испытательном образце для настройки скорости развертки и чувствительности (рисунок Ш.2).



**Рисунок Ш.6. Схема контроля шпилек с осевым сверлением  
однократно отраженным лучом:**

**1, 2- положения ПЭП при контроле галтельного перехода; 3- положение  
ПЭП при контроле  
резьбовой части**

**Ш.4.7.4** Контроль и оценка степени допустимости дефектов проводится аналогично п.п Ш.4.6.

**Ш.4.8** Контроль поверхности осевого сверления:

**Ш.4.8.1** Контроль осуществляется наклонным ПЭП на частоту от 2,0 МГц до 2,5 МГц с углом призмы 40°.

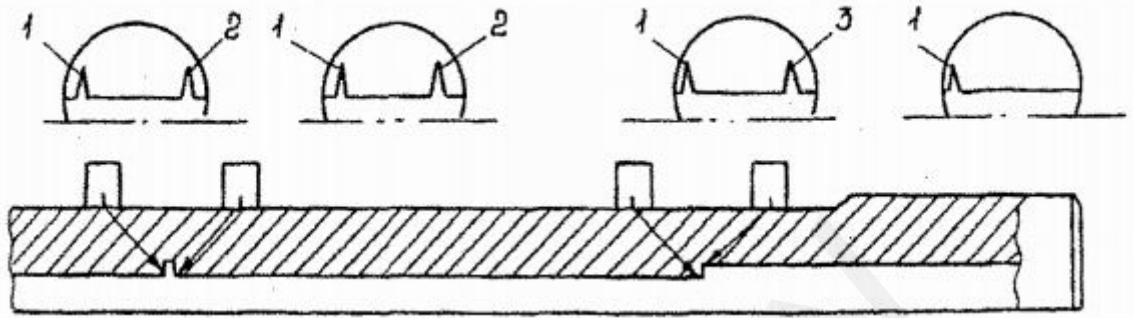
**Ш.4.8.2** Настройка чувствительности и скорости развертки осуществляется по испытательному образцу (рисунок Ш.2), изготовленному из шпильки контролируемого типоразмера.

**Ш.4.8.3** Рабочей зоной развертки является часть экрана, непосредственно прилегающая к месту появления эхо-сигналов от сквозного сверления в испытательном образце (рисунок. Ш.2).

**Ш.4.8.4** С помощью амплитуды эхо-сигнала от вертикального сверления определяется поисковый, контрольный и браковочный уровни чувствительности согласно п. 4.4.

**Ш.4.8.5** Признаком дефекта является появление сигнала в рабочей зоне развертки. В отличие от несоосности осевого сверления дефект должен выявляться при озвучивании его с двух сторон (рис. 7).

**Ш.4.8.6** Дефект считается недопустимым, если амплитуда эхо-сигнала от него равна или больше браковочного уровня чувствительности при озвучивании с обеих сторон.



**Рисунок Ш.7. Схема определения несоосности при контроле шпилек с внутренним сверлением:**

1- зондирующий сигнал; 2- сигнал от дефекта; 3- сигнал от ступеньки

### **Ш.5. Оценка качества**

**Ш.5.1** Качество шпилек по результатам контроля определяется двумя оценками- "негодна" и "годна".

**Ш.5.2** Шпилька негодна(брак), если при визуальном контроле обнаружены трещины в резьбовой или гладкой части шпильки либо при проведении УЗК обнаружен дефект, имеющий признаки наличия недопустимой несплошности.

**Ш.5.3** Шпилька годна, если дефектов с признаками недопустимой несплошности не обнаружено.

**Ш.5.4** По результатам контроля оформляется заключение, в котором указывается:

наименование узла и номер формуляра;

тип, номер, угол призмы ПЭП, диаметр и частота колебаний пьезопластины;

номер испытательного образца;

ФИО дефектоскописта и номер сертификата компетентности;

дата проведения контроля;

наименование, номер, типоразмер и марка стали контролируемой детали;

местоположение обнаруженных дефектов и их характеристика;

оценка качества детали по результатам контроля;

особые условия контроля.

**Ш.5.3** В заключении учитываются все дефекты, амплитуда сигнала от которых превышает или равна контрольному уровню чувствительности, за исключением контроля согласно п.п. Ш.4.6, когда во внимание принимаются дефекты, для которых значение параметра  $\Delta$  превосходит значение  $\Delta_0$  более чем на 2 дБ.

### **Ш.6. Меры безопасности**

При проведении УЗК должны соблюдаться меры безопасности, предусмотренные при эксплуатации теплосилового оборудования электростанций, а также общие требования действующих Правил технической эксплуатации

электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

## 7. Методика проверки прямых ПЭП

**Ш.7.1** Проверка ДН (диаграммы направленности) прямого ПЭП может проводиться с использованием стандартного образца (СО) №2 по ГОСТ 14782 или специальных образцов. Для проверки параметров ПЭП с помощью СО-2 его устанавливают на образце и находят максимум амплитуды эхо-сигнала от сверления диаметром 6 мм, расположенного на глубине 44 мм. По шкале образца, проградуированного в градусах, отмечают местоположение х<sub>0</sub> средней точки контактной поверхности ПЭП. Для удобства и повышения точности измерений ПЭП рекомендуется помещать в обойму, обеспечивающую возможность его вращения вокруг оси и расположения акустической оси на равном расстоянии от боковых граней образца (рисунок Ш.8). Затем смещают ПЭП, как это указано на рисунке Ш.8, до положения Х, соответствующего уменьшению амплитуды в два раза (на 6 дБ). Пьезоэлектрический преобразователь считается пригодным для контроля, если значение Х<sub>0</sub> не превышает 2°, а значение Х составляет 6°±30' для частоты от 2 МГц до 3 МГц и 9°±30' для частоты от 4 МГц до 6 МГц. Контроль ДН проводится не менее чем в трех плоскостях для ПЭП, составляющих одна с другой угол 120°.

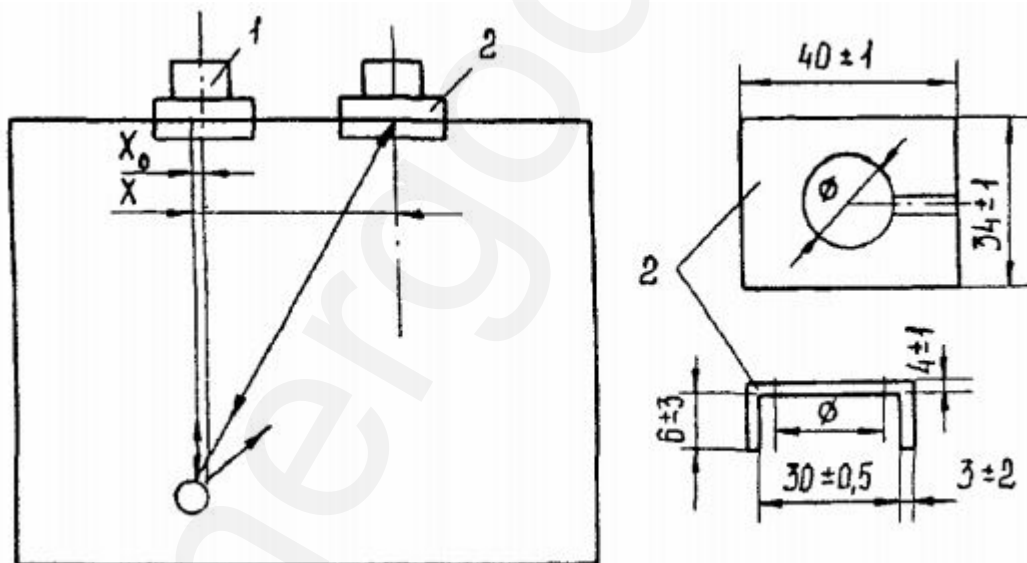


Рисунок Ш.8. Схема проверки ДН прямого ПЭП по СО-2:  
1 - ПЭП; 2 – обойма

**Ш.7.2.** Для определения ДН поля излучения контактных прямых ПЭП может применяться образец типа полусферы- рис. Ш.9. Образец изготавливают на токарном станке из стали марки 20 по ГОСТ 1050. Внешняя поверхность полусферы 1 радиусом 75 мм, разделяется на окружности (параллели 2), отстоящие одна от другой на расстоянии 5 мм по образующей с центром в полюсе полусферы и 12 полуокружностей (меридианов 3), пересекающихся в полюсе полусферы, равноотстоящих одна от другой в основании полусферы. Центр испытуемого ПЭП

4 находится в центре основания полусферы, и ПЭП подключается к выходу дефектоскопа. Измерительный прямой контактный ПЭП 5, подключенный к входу дефектоскопа, передвигают по меридианам от полюса и записывают амплитуды сигналов в точках пересечения меридианов и параллелей. Измерения производятся по раздельной схеме до параллели, отстоящей от полюса не далее 20 мм. Прижим измерительного ПЭП 5 к поверхности образца осуществляется с помощью пружин 8. Прижим испытуемого ПЭП к основанию полусферы осуществляется с помощью пластины 6, а его центровка – шайбой 7. В качестве контактной жидкости рекомендуется применять вязкие масла. Все устройство крепится на треноге 9.

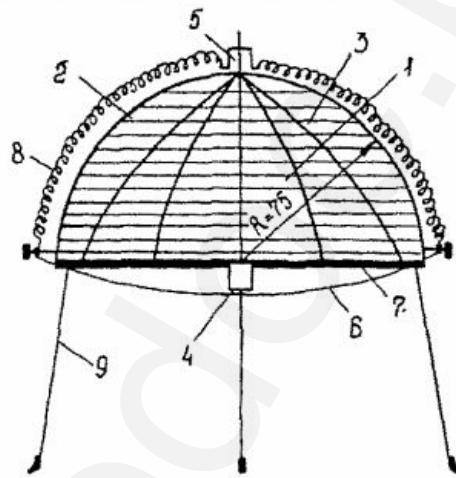


Рисунок Ш.9. Испытательный образец для проверки ДН

### Ш.7.3 Основные измеряемые характеристики:

- местоположение максимального значения амплитуды сигнала, излучаемого испытуемым ПЭП на поверхности полусферы;
- ширина ДН на уровне  $0,5A_{\text{макс}}$ , ( $0,5A_{\text{макс}} = A_{\text{макс}} - 6 \text{ дБ}$ ).

Прямой контактный ПЭП считается годным для УЗК если:

- акустическая ось ПЭП (максимум амплитуды сигнала) смещена относительно полюса полусферы не более чем на 2,5 мм;
- ширина ДН на уровне  $0,5A_{\text{макс}}$  на расстоянии от полюса по образующей для прямого ПЭП составляет: 18 мм на частоту 2,5 МГц; 16 мм на частоту 5 МГц.

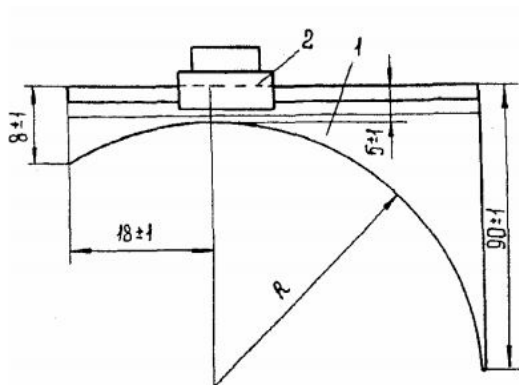
## Ш.8. Методика контроля по выявлению продольных трещин на внутренней и наружной поверхности шпилек

**Ш.8.1** Для выявления продольных трещин на внутренней и наружной поверхностях шпилек применяется специальный ПЭП на частоту 2,5 МГц (рисунок Ш.10), состоящий из призмы с вогнутой цилиндрической рабочей поверхностью, соответствующей диаметру контролируемой шпильки, и головки от стандартного ПЭП.

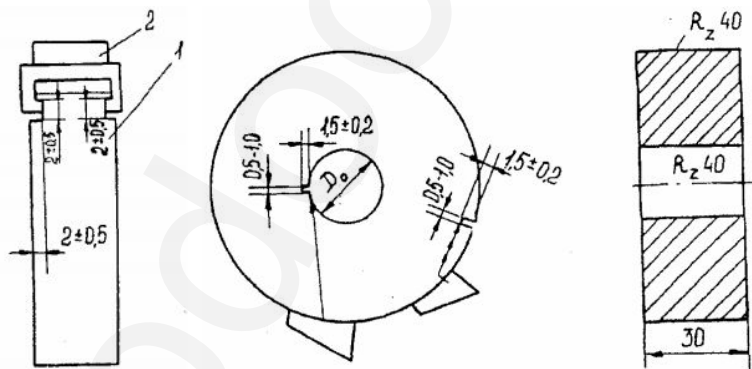
**Ш.8.2** Настройка чувствительности проводится по надрезам в испытательном образце (рисунок Ш.11), изготовленном из шпильки контролируемого типоразмера.

Для поиска трещин на поверхности осевого сверления головка устанавливается в положение, смещенном относительно призмы на 6-8 мм, чтобы соответствующий надрез уверенно выявлялся при прозвучивании металла, а отраженный от осевого сверления сигнал отсутствовал.

Для поиска трещин на наружной поверхности шпильки головка устанавливается вблизи утолщенной части призмы, чтобы надрез на наружной поверхности уверенно выявлялся поверхностной волной. Амплитуда сигнала от надреза должна соответствовать браковочному уровню чувствительности (см. п.п. Ш.4.4.).



**Рисунок Ш.10. Пьезоэлектрический преобразователь для контроля шпилек на наличие продольных трещин:**  
1- призма; 2- головка ПЭП



**Рисунок Ш.11. Схема настройки чувствительности при контроле шпилек на наличие продольных трещин и образец для настройки чувствительности**

**Ш.8.3** Поиск дефектов проводится поочередно для обнаружения трещин на наружной и внутренней поверхностях при сканировании в двух противоположных направлениях. Обнаруженный дефект считается недопустимым, если амплитуда сигнала от него превышает браковочный уровень чувствительности.

**Ш.8.4** Для обнаружения продольных трещин на поверхности осевого сверления в резьбовой части шпильки, призму ПЭП следует профилировать по резьбе шпильки, после чего провести контроль согласно пп. Ш.8.1-3.