МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УТВЕРЖДЕНО
Приказом
Минэнерго России
от 24.06.2003 г. № 252

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ МЕТАЛЛА ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИН И КОМПРЕССОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Москва ЦПТИ ОРГРЭС 2004

gost.e-ecolog.ru

Вводится в действие
с 24 июня 2003 г.

Настоящая Инструкция (СО 153-34.17.448-2003) распространяется на энергетические газотурбинные установки (ГТУ) с пиковой, полупиковой, базовой нагрузкой, работающие на газообразном и жидком топливе при температуре рабочей среды до 1400°С, и устанавливает основные требования к организации и проведению контроля за состоянием металла, его периодичность, зоны, методы, объемы и нормы контроля, критерии оценки качества металла основных элементов турбин и компрессоров ГТУ в пределах и по истечении установленного срока службы, а также после аварии.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая Инструкция регламентирует порядок, методы, объем, зоны, периодичность для разных режимов и организационную структуру эксплуатационного контроля за состоянием металла деталей действующих ГТУ (эксплуатирующихся и ремонтирующихся в соответствии с нормативами предприятий — изготовителей ГТУ) в пределах установленного ресурса, а также после аварий и при продлении срока их службы сверх установленного.

Все вопросы, относящиеся к функциональной надежности агрегата, реконструкции, модернизации, организация, эксплуатирующая ГТУ, решает с предприятием-изготовителем отдельно до момента продления ресурса металла ГТУ.

Контроль проводится с целью выявления дефектов (трещин, коррозионно-эрозионных язвин зон перегревов в виде цветов побежалости, сколов, отшелушивания защитных покрытий и др.) в деталях и узлах энергооборудования ГТУ и

обеспечения надежной эксплуатации до проведения очередного контроля.

1.2 Ресурс стационарных ГТУ, в том числе в составе ПГУ, принимается в соответствии с ГОСТ, по нему должны обеспечиваться режимы работы в соответствии с классами использования, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Режим работы стационарных ГТУ

Класс использования	Время работы, ч/год	Число пусков, пуск/год
Пиковый режим	Свыше 500 до 2000 вкл.	Свыше 200 до 500 вкл.
Полупиковый режим	Свыше 2000 до 6000 вкл.	Свыше 100 до 200 вкл.
Базовый режим	Свыше 6000	Не более 100

Ресурс ГТУ в соответствии с ГОСТ должен быть не менее указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Ресурс работы стационарных ГТУ

Ресурс	Режим работы	
	базовый	пиковый
Средний между капитальными ремонтами	Не менее 25000 ч	1000 пусков или 4000 ч работы под нагрузкой
До снятия	100000 ч	5000 пусков

В технических условиях для ГТУ каждого типа указан ограниченный ресурс для некоторых базовых узлов и деталей (например, лопаток, жарового узла камер сгорания и др.). Эти детали имеют срок службы не менее ресурса между капитальными ремонтами или кратный ему.

1.3 При эксплуатации металл контролируется в основном во время плановых остановок оборудования ГТУ. Как и для паровых турбин, он проводится силами аттестованных лабораторий металлов или службы металлов, ремонтных, специализированных предприятий.

При диагностировании оборудования ГТУ допускается применение новых методов и средств неразрушающего контроля, не указанных в настоящей Инструкции, после их утверждения в установленном порядке.

1.4 Детали и элементы оборудования считаются пригодными к дальнейшей эксплуатации, если результаты контроля подтвердят, что состояние основного и наплавленного металла, а также защитных антикоррозионных и термобарьерных покрытий удовлетворяет требованиям настоящей Инструкции и действующей нормативной документации.

1.5 Если результаты контроля окажутся неудовлетворительными для отдельных ответственных деталей или узлов, для анализа и дополнительного исследования металла привлекаются предприятие-изготовитель и научно-исследовательские организации. При этом рассматриваются результаты контроля за все время эксплуатации поврежденных деталей или узлов (акты) и другие необходимые документы, анализируются все случаи однотипных повреждений, при необходимости составляется программа исследования, разработанная одной из организаций или совместно перечисленными организациями в соответствии с нормативной документацией.

1.6 Перед началом планового ремонта ГТУ при назначении объема контроля необходимо учитывать температурно-временной режим эксплуатации.

В случае забросов температуры газов выше допустимых, согласно инструкции предприятия — изготовителя ГТУ, проводится внеочередной контроль лопаточного аппарата и других деталей и элементов горячего тракта.

В действующих агрегатах не допускается нагрев выше 1200°С (3 мин и более) лопаток первых ступеней, выполненных из литых никелевых сплавов, и выше 900°С (3 мин и более) — выполненных из деформируемых сплавов (штампованные лопатки). При достижении указанных температур металл разупрочняется, его прочностные характеристики не удовлетворяют требованиям ТУ и возможно разрушение лопаток. При этом необходимо остановить турбину для проведения дефектоскопии и исследования металла лопаток.

1.7 Визуальному контролю подлежат 100% деталей оборудования. При необходимости можно использовать лупы, эндоскопы и другие оптические средства.

Специальному контролю подлежат элементы энергооборудования ГТУ (лопатки, диски и др.), работающие в режимах, которые могут вызывать возникновение и развитие процессов ползучести, окалинообразования, коррозии, эрозии, усталости, термоусталости, а также изменение структуры и механических свойств под воздействием высоких температур и напряжений, и элементы (корпуса цилиндров, обоймы турбин, коллекторы и др.), работающие в режимах, при которых под влиянием теплосмен протекают процессы коробления вследствие накопления остаточной деформации.

1.8 Работа каких-либо деталей газовых турбин с трещинами не разрешается. Их необходимо демонтировать или подвергнуть ремонту.

1.9 Рабочие и сопловые (направляющие) лопатки с трещинами должны быть заменены новыми. Если на лопатках повторяются одни и те же характерные повреждения, должна быть заменена вся ступень, а причины повреждения установлены при лабораторных исследованиях.

Решение о необходимости небольшого ремонта лопаток в условиях электростанции (выборка мелких единичных трещин, рихтовка небольших забоин, вмятин в ненапряженных зонах лопаток и др.) и последующего контроля в местах ремонта принимается предприятием-изготовителем и техническим руководителем электростанции.

Вопрос о дальнейшей эксплуатации всей ступени лопаток решается после анализа причин повреждения (трещины, язвины и др.) хотя бы одной лопатки.

1.10 Все обнаруженные при контроле трещины в корпусах цилиндров турбин и компрессоров и других ответственных деталей (коллекторов, пламенных труб и др.) должны быть выбраны абразивным инструментом. Полнота выборки контролируется методом ЦД и МПД. В зависимости от глубины выборки место выборки заваривается или оставляется без заварки.

Структура металла по результатам металлографических исследований вырезок, реплик (корпуса цилиндров турбин, роторы и др.) не должна иметь аномальных изменений по сравнению с исходным состоянием.

Механические свойства и микроструктура металла направляющих и рабочих лопаток после длительных наработок должны удовлетворять требованиям технических условий или критериев надежности.

1.11 Все виды неразрушающего контроля, измерения, определение механических свойств, исследование микроструктуры металла, расчеты на прочность следует проводить в соответствии с требованиями государственных и отраслевых стандартов, заводских или отраслевых инструкций.

Аппаратура, ее чувствительность, методики и эталоны настройки, применяемые для контроля, должны соответствовать требованиям нормативных документов к конкретным видам контроля и пройти проверку в установленные сроки.

1.12 Для ответственных деталей небольших размеров (лопатки, крепеж и др.) предусматривается периодическое изъятие их для проведения исследования металла в лабораторных условиях для оценки его состояния после эксплуатации и определения остаточного ресурса.

1.13 После исчерпания ГТУ установленного ресурса (100000 ч или 5000 пусков, см. таблицу 1) или после 7500 пусков, как указано в проектах новых агрегатов, допускается кратковременная эксплуатация сверх указанного срока в пиковом режиме не более 400 ч и 100 пусков, в полупиковом режиме — не более 5000 ч и 100 пусков, в базовом режиме — не более 10000 ч.

Возможность дальнейшей эксплуатации ГТУ определяет организация, эксплуатирующая ГТУ. По результатам обследования составляется формуляр, приведенный в приложении 1, и оформляется решение по форме, приведенной в приложении 2.

1.14 При аварийных остановах с разрушением деталей ГТУ создается экспертно-техническая комиссия, в состав которой рекомендуется включать специалистов предприятия-изготовителя и научно-исследовательских организаций. Причины разрушения металла исследуются по совместно разработанной программе. По результатам исследования металла с установлением причин разрушения деталей предлагаются мероприятия по восстановлению ГТУ (ремонт, замена, возможность и сроки дальнейшей эксплуатации).

1.15 Решение о периодичности, объеме и методах контроля, продлении срока службы отдельных элементов энергооборудования, изготовленных из материалов или по технологии, не вошедших в настоящую Инструкцию, принимается предприятием-изготовителем.

1.16 Проектировщиками и предприятиями — изготовителями оборудования должны быть предусмотрены площадки, смотровые лючки, реперы или указаны зоны на основных деталях для проведения эксплуатационного контроля.

1.17 При исследовании металла после эксплуатации в научно-исследовательских организациях и на предприятии-изготовителе рекомендуется составить программу исследования. При этом предприятие-изготовитель должно предоставить необходимую техническую документацию (технические условия, паспортные данные, чертежи деталей).

1.18 Для определения ресурса и проведения расчетов эквивалентной наработки деталей или ГТУ в целом, а также для разработки рекомендаций о режимах дальнейшей эксплуатации в соответствующих отделах электростанции необходимо хранить следующие данные:

— о продолжительности наработки с дифференциацией по температурным параметрам, общем количестве пусков: холодных, пробных с зажиганиями, со сбоями, ручных, а также об ускоренных нагружениях-разгружениях, аварийных остановах;

— результаты входного и текущего контроля всех основных элементов ГТУ за весь период эксплуатации;

— результаты исследования аварийных отказов;

— сведения о ремонтных работах и замене деталей элементов ГТУ.

1.19 На электростанции должны быть разработаны и утверждены техническим руководителем исполнительные формуляры по контролю за металлом оборудования согласно настоящей Инструкции.

2 ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМЫ, МЕТОДЫ, СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ И ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛА ДЕТАЛЕЙ К КОНТРОЛЮ В ПРЕДЕЛАХ УСТАНОВЛЕННОГО РЕСУРСА

2.1 Перечень элементов ГТУ, контролируемых в период эксплуатации в пределах расчетного ресурса, приведен в таблице 3.

2.2 Расчетная температура среды дана в графе 2 таблицы 3. Объем контроля элементов, назначенный с учетом особенностей напряженного состояния конструкций и условий эксплуатации и включающий зоны наиболее вероятного образования дефектов, указан в графе 3 таблицы 3, методы контроля — в графе 4, периодичность проведения контроля — в графах 5 и 6, режим работы ГТУ — в графе 7 этой таблицы.

2.3 Срок проведения контроля определяется достижением продолжительности эксплуатации или определенного количества пусков. Продолжительность эксплуатации и количество пусков действуют независимо.

2.4 На основании настоящей Инструкции допускается разработка организацией, эксплуатирующей ГТУ, предприятием-изготовителем производственных инструкций на обследование металла конкретного оборудования ГТУ, которые при необходимости могут ужесточить требования инструкции в части объема и периодичности.

Во время эксплуатации до исчерпания установленного ресурса допускается смещение сроков контроля (25 пусков или 100 ч для пиковых, 20 пусков или 1000 ч для полупиковых и 3000 ч для базовых ГТУ по сравнению со сроками, указанными в таблице 3). Во всех случаях номенклатура элементов и методы контроля должны соответствовать инструкции.

Решение о смещении сроков контроля оборудования ГТУ принимается техническим руководителем электростанции.

Таблица 3 – Объемы, методы и сроки проведения контроля основных элементов ГТУ

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Корпусные детали и сварные соединения турбин и компрессоров							
Корпуса цилиндров верхние и нижние половины с горизонтальными или вертикальными разъемами, выхлопные части), промежуточные корпуса турбин и компрессоров, корпуса диафрагм турбин и компрессоров сварно-литой или сварной конструкции из листового проката, корпус опорного венца	540 и ниже	100% поверхности (внутренние, зоны радиусных переходов, поверхности разъемов, наружные поверхности у фланцев, свободные от изоляции)	ВК	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	Для корпусов компрессоров периодичность контроля увеличить в 1,5 раза
		100% внутренних и наружных поверхностей радиусных переходов, посадочных мест диафрагм, плоскости горизонтальных и вертикальных разъемов и в подозрительных местах	МПД, ЦД	5 60 60	1200 1200 100	Пиковый Полупиковый Базовый	
		На внутренних корпусах цилиндра – пояски под первые диафрагмы. Сварные швы					
		Вырезки образцов для оценки надежности металла горячих зон корпусов цилиндров (по эскизам и по согласованию с конструкторами предприятия-изготовителя)		При наличии трещин глубиной 40% толщины стенки и более			Определение соответствия их нормам ТУ

Входной направляющий аппарат (ВНА) компрессора с направляющими лопатками	20	100% направляющих лопаток, поверхность обода в доступных местах, лопатки спрямляющего аппарата	ВК	1,2 15	300 300	Пиковый Полупиковый	
		100% направляющих и спрямляющих лопаток (входные и выходные кромки, галтели)	МПД, ЦД	5 60	1200 1200	Пиковый Полупиковый	
Лопатки спрямляющего аппарата	20	100% лопаток	ВК, МПД ЦД	30 60	600 100	Полупиковый Базовый	
Силовые корпуса внутреннего, заднего и опорно-упорного подшипников сварно-литой конструкции	20	100% поверхностей деталей (внутренние, наружные, зоны радиусных переходов)	ВК	1,2 15	300 300	Пиковый Полупиковый	
		100% поверхностей деталей (внутренние, наружные, зоны радиусных переходов у ребер жесткости и к телу корпуса и другие галтели)	МПД, ЦД	60 1,2 30 60	100 300 600 100	Базовый Пиковый Полупиковый Базовый	
Корпуса входного и выходного конфузора с ребрами жесткости сварно-литой конструкции, диффузоры (входной и выходной)	20	100% поверхности (внутренние, наружные, зоны радиусных переходов деталей), 100% сварных швов (внутренние, наружные)	ВК, ЦД	1,2 15 60	300 300 100	Пиковый Полупиковый Базовый	

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Сварные соединения и ремонтные заварки корпусов турбин, компрессоров, промежуточных корпусов турбин и компрессоров	540 и ниже	100% поверхностей сварных швов (внутренние, наружные)	ВК	1,2	300	Пиковый	Совместно с предприятием-изготовителем
				15	300	Полупиковый	
		100% поверхностей сварных швов и околошовных зон шириной не менее 80 мм по обе стороны от шва	МПД или ЦД	1,2	300	Пиковый	При вынужденной эксплуатации корпусов с не полностью удаленными при ремонте трещинами вопрос о длительности работы и периодичности контроля решается ОАО «ВТИ»
				30	600	Полупиковый	
				60	100	Базовый	
		100% поверхностей всех ремонтных заварок, выполненных аустенитными электродами	ЦД	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
		100% поверхностей всех ремонтных заварок, выполненных перлитными электродами по Инструкции И 34-80-020-85	МПД или ЦД	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	

Сварные соединения и ремонтные заварки силовых корпусов внутреннего, заднего и опорно-упорного подшипников	20	100% поверхностей сварных швов (внутренние, наружные)	ВК	1,2	300	Пиковый
				15	300	Полупиковый
				30	50	Базовый
		100% поверхностей всех ремонтных заварок, выполненных аустенитными электродами	ЦД	1,2	300	Пиковый
				15	300	Полупиковый
				30	50	Базовый
		100% поверхностей всех ремонтных заварок, выполненных перлитными электродами	МПД или ЦД	1,2	300	Пиковый
				15	300	Полупиковый
				30	50	Базовый
Детали проточной части турбин						
Роторы: Цельнокованые роторы, передние и задние концевые части валов, полумуфты, уплотнительные, промежуточные и покровные диски, соединительная часть ротора с фланцами (шейка среднего опорного подшипника), барабан, фланец жесткой полумуфты	Независимо от температуры	Поверхности ободов и отверстий в них, ступиц, гребней, полотен и галтелей дисков, галтели тепловых канавок, передних и задних концевых частей каналов, свободных от уплотнений, поверхности и галтели полумуфт	ВК	При каждом вскрытии и всех режимах работы		
			МПД или ЦД, ВТД, УЗД (гребни, ободы)	5	1200	Пиковый
				60	1200	Полупиковый
				60	100	Базовый

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
	450 и выше	Поверхность осевого канала диаметром 70 мм и более	ВК, МПД или ВТД УЗД	20 100	5000 1800	Пиковый Полупиковый	Контроль при наличии осевого канала в горячей зоне ротора
				100	200	Базовый	
Сварные части роторов	240 и выше	Поверхности ободов, гребней, полотен и галтелей дисков, сварные швы	ВК	При каждом вскрытии и всех режимах работы			
			МПД или ЦД, ВТД, УЗД	30	600	Полупиковый	УЗД (100% гребней и ободов. Остальные зоны – в доступных местах)
				60	100	Базовый	
Стяжные и насадные диски, стяжные болты, гайки стяжных болтов	200 и выше	Поверхности ободов и отверстий в них, ступиц, гребней, полотен дисков	ВК	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				60	100	Базовый	
			МПД или ЦД, ВТД, УЗД	5	1200	Пиковый	УЗД (100% гребней и ободов, полотно – на первых и последних ступенях ротора в доступных местах)
				60	1200	Полупиковый	
				60	100	Базовый	

		Разборка ротора на предприятии-изготовителе с заменой стяжных болтов	То же				
		ГТ-100		15	3600	Пиковый	
		ГТ-150		10	2400	Пиковый	
		Торцы резьбовых частей болтов, боковые поверхности граней гаек стяжных болтов	ВК, стилоскопирование, измерение твердости	При входном контроле, при каждом вскрытии и выемке ротора			
		100% боковых поверхностей гаек	ЦД	5	1200	Пиковый	
				60	1200	Полупиковый	
Рабочие лопатки	Независимо от температуры	100% поверхностей всех лопаток	ВК	При каждом вскрытии и всех режимах работы			М-ЛЮМ-А, ЛЮМ-А, ВТД, УЗД – методы, обязательные для контроля лопаток с защитными покрытиями. Галтели контролируются после разлопачивания ступеней; МПД – для лопаток без защитных покрытий из хромистых сталей после зачистки от окалины; ЦД – для лопаток без защитных покрытий с предварительной зачисткой от окалины.
		100% лопаток (входные и выходные кромки, галтели у корня с обеих сторон, поверхности возле демпферных отверстий)	М-ЛЮМ-А или ЛЮМ-А (при разлопачивании) ВТД, ЦД, МПД (на роторе), УЗД (выходных кромок)	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Рабочие лопатки	Независимо от температуры	Две диаметрально расположенные лопатки (после разлопачивания ступени)	Измерение твердости металла лопаток, выполненных из некоторых материалов (см. раздел 5 Инструкции)	15 30–40 30–40	3500 600 100	Пиковый Полупиковый Базовый	Трещины в какой-либо части лопатки, а также коррозионные язвы на выходных кромках недопустимы, лопатки демонтируются досрочно. Состояние основного металла и защитного слоя определяется в лабораторных условиях для установления причин повреждения и оценки остаточного ресурса металла ступени в целом и возможности восстановления (механическая и термическая обработка). Режимы их проведения для широко применяемых материалов разработаны ВТИ и предприятиями-изготовителями

		Пять лопаток	Снятие отложений для химического анализа и фотографирования в случае коррозии (общей, язвенной)	При коррозионном повреждении ступени			
		Две лопатки	Оценка структуры и свойств основного металла и защитного слоя для определения остаточного ресурса	6 (с защитным покрытием)	1500	Пиковый	
				15	3500	Пиковый	
				30	600	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
Z-образные связи рабочих лопаток	800 и ниже	33% *Z*-образных связей и металла лопаток вокруг них диаметром 25 мм	ВК, ЦД	1,2	300	Пиковый	ЦД проводится последовательно за 3 вскрытия и охватывает 100% связей

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Направляющие (сопловые) лопатки, бандажные полки	Независимо от температуры	100% лопаток (входные и выходные кромки, галтели в верхней и нижней частях лопаток)	ВК,	1,2	300	Пиковый	В базовых ГТУ в составе ПГУ наблюдается большой эрозионный износ в прикорневых сечениях. Применяются ЛЮМ-А или М-ЛЮМ-А для контроля после разлопачивания, ЦД – в собранном виде в обойме, МПД – для хромистых сталей, ВК – после промывки горячей водой. При образовании трещин, а также коррозионных язв на выходных кромках хотя бы одной лопатки ее надо
			ЛЮМ-А или М-ЛЮМ-А, ВТД, ЦД, МПД, УЗД (выходных кромок)	15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
		Пять лопаток	При наличии признаков коррозии надо снять отложения для химического анализа и сфотографировать поврежденные лопатки				

			Измерение твердости металла лопаток, выполненных из некоторых материалов (см. раздел 5 Инструкции)	15 30–40 30–40	3500 600 и более 100 и менее	Пиковый Полупиковый Базовый	демонтировать досрочно для определения состояния основного металла, защитного слоя и остаточного ресурса металла и возможности восстановления путем механической и термической обработки
		Две лопатки	Оценка структуры и свойств основного металла и защитного слоя для определения остаточного ресурса	10 60 60	2500 1200 100	Пиковый Полупиковый Базовый	
Обоймы направляющих лопаток (сегменты, кольца)	Независимо от температуры	100% поверхностей обойм	ВК, ЦД или МПД при подозрении на трещины	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Детали проточной части компрессоров							
Роторы:							
Цельнокованые роторы, передние и задние концевые части валов, полумуфты	150 и ниже	100% поверхностей ободов, гребней, полотен дисков, галтели тепловых канавок передних и задних концевых частей, галтели полумуфт	ВК	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	Особое внимание обращать на состояние поверхности металла в районе крепления замковых лопаток
Сварные роторы	–	100% поверхностей ободов, полотен, гребней, галтелей тепловых канавок, передних и задних концевых частей сварных швов (в доступных местах)	МПД или ЦД, ВТД, УЗД	5 30 60	1200 600 100	Пиковый Полупиковый Базовый	На полосе обода шириной 60 мм у мест посадки рабочих лопаток с двух сторон. Применять УЗД для ободов, гребней; ЦД или УЗД для тепловых канавок
Насадные диски, диски барабанно-дисковой конструкции	–	Поверхности ободов, гребней, полотно, ступица	ВК, МПД или ЦД, УЗД	1,2	300	Пиковый	УЗД гребней, ободов на полосе шириной 60 мм у места посадки рабочих лопаток с двух сторон

		Разборка ротора ГТЭ-150 на предприятии-изготовителе с заменой стяжных болтов	То же	10	2400	—«»—	
Центральный стяжной вал, гайки	–	Вал, 100% гаек	Стилоскопирование, измерение твердости	Входной контроль		—«»—	Места прижогов при стилоскопировании тщательно зашлифовывать
		Боковые поверхности гаек.	ВК, МПД или ЦД, УЗД	1,2	300	—«»—	
		Резьбовое соединение вала		15	300	Полупиковый	
Рабочие лопатки с «елочными» или «ласточкиными», Т-образными или зубчиковыми хвостами	–	Поверхности входных и выходных кромок, галтелей у корня лопаток	ВК, МПД или М-ЛЮМ-А или ЦД, УЗД	1,2	300	Пиковый	ВК – при любом вскрытии. При этом обращать внимание на наличие рисок механического происхождения, полученных при изготовлении, в особенности в прикорневых сечениях, а также на эрозионный износ поверхности. Галтели специальными методами контролируются только при разлопачивании ступени; ЦД или УЗД проводится для выходных кромок
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
		Хвосты лопаток, кроме Т-образных	УЗД по полкам лопаток	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля: Через каждые (не более), тыс. ч	Периодичность проведения контроля: Количество общих пусков (не более)	Режим работы ГТУ	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
Направляющие аппараты сварной и сборной конструкции с лопатками, подвески входного направляющего аппарата, бандажи направляющих лопаток	–	Поверхности всех деталей	ВК	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
		100% направляющих лопаток (входные и выходные кромки, галтели)	МПД или ЦД	5	1200	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
Пламенные трубы							
В ГТЭ-150 – составные из трех склепанных между собой частей (14 труб): входная часть (сварная), средняя часть (сварная), выходная часть (сварно-клепаная), в ГТ-110 – трубчато-кольцевые, двухсольные. В ГТУ-170П – трубчато-кольцевые	Независимо от температуры	100% поверхности всех элементов пламенной трубы	ВК	0,3	50	Пиковый	Обратить внимание при ВК на выявление трещин, коробление, наличие цветов побежалости при перегревах, механический износ, отложения, коррозию. ВК проводить с помощью лупы
		Места, вызывающие подозрение на наличие трещин, поверхности сварных швов (в доступных местах)	ЦД	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
		100% поверхностей обечаек и пламяперекидных патрубков, поверхности температурных резов		30	50	Базовый	
				25	1900	Пиковый	

Высокого и низкого давления с переходными патрубками, кольцевой камеры сгорания	Независимо от температуры	100% наружных и внутренних поверхностей и посадочных колец, сварных швов у горловины и в местах расположения электрозаклепок	ВК, ЦД	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	ВК с помощью лупы
			Коллекторы				
Высокого и низкого давления, газопереходные патрубки сгорания	Независимо от температуры	100% основных поверхностей и сварных швов	ВК, ЦД	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	Остаточная деформация в местах разъема в холодном разболченном состоянии выявляется с помощью измерительного щупа
			Крепеж турбин, компрессоров, камер сгорания				
Крепеж корпусов турбин и компрессоров	500 и выше	100% шпилек и болтов	ВК, стилоскопирование и измерение твердости	Входной контроль			
		100% шпилек	ВК, измерение твердости, проверка соосности	10 60 60	2500 1200 100	Пиковый Полупиковый Базовый	

Продолжение таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Призонные болты муфт роторов турбина – компрессор – генератор	Независимо от температуры	100% поверхности резьбовых соединений болтов и торцевые поверхности граней гаек	Стилоскопирование и измерение твердости	При входном контроле			
			100% болтов и гаек				
			ВК, УЗД (резьба болтов), МПД, ЦД (грани гаек)	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
Болты КВД-ТВД и КНД-ТНД	Независимо от температуры		ВК, УЗД (резьба болтов), МПД, ЦД (грани гаек)	1,2	300	Пиковый	С целью выявления трещин
Другие детали							
Жаровые вставки патрубка газоходов, турбины	Независимо от температуры	100% внутренних поверхностей	ВК	При каждом вскрытии При подозрении на трещины			

		В 2–3 местах	Измерение твердости переносным твердомером	5 30	1200 50	Пиковый Базовый	
Газовлускная улитка	Независимо от температуры	100% внутренней поверхности	ВК	15	300	Полупиковый	
		В 2–3 местах	Измерение твердости переносным твердомером	60	1200	То же	
Внешний и внутренний трубопроводы газоходов	Независимо от температуры	Поверхности в доступных местах	ВК	15	300	—«»—	
		100% поверхностей сварных швов	ЦД	При подозрении на трещины			
Трубы воздухоохладителей	Независимо от температуры	100% наружных поверхностей	ВК	1,2	300	Пиковый	
		1 образец из каждой секции	Вырезка образца трубы длиной 300 мм для снятия и анализа отложений и обследования состояния поверхности	5	1200	—«»—	
Стойки и обтекатели	Независимо от температуры	100% наружных поверхностей	ВК	1,2 15 30	300 300 50	Пиковый Полупиковый Базовый	

Окончание таблицы 3

Объект контроля	Расчетная температура среды, °С	Объем контроля	Методы контроля*	Периодичность проведения контроля		Режим работы ГТУ	Примечание
				Через каждые (не более), тыс. ч	Количество общих пусков (не более)		
1	2	3	4	5	6	7	8
Проставки валов	Независимо от температуры	100% поверхностей	ВК	1,2	300	Пиковый	
			ЦД	При подозрении на трещины			
Горелочные устройства и корпуса термоэлектрических преобразователей (термопар)	Независимо от температуры	100% поверхностей	ВК	1,2	300	Пиковый	
				15	300	Полупиковый	
				30	50	Базовый	
			ЦД	При подозрении на трещины			
Корпус и элементы камеры сгорания (фланцы, шпонки и др.)	Независимо от температуры	100% поверхностей	ВК	При каждом вскрытии			
			ЦД	При подозрении на трещины			

* В графе 4 данной таблицы используются следующие сокращения: ВК – визуальный контроль; ЦД – цветная дефектоскопия; ВТД – вихретоковая дефектоскопия; М-ЛЮМ-А – магнитно-люминесцентная дефектоскопия; ЛЮМ-А – люминесцентная дефектоскопия; МПД – магнитопорошковая дефектоскопия; ТВ – измерение твердости металла; МР – исследование микроструктуры металла методом реплик; ИМ – исследование химического состава, микроструктуры и механических свойств на вырезках заготовок образцов из деталей.

2.5 Наблюдение за состоянием металла деталей ГТУ предусматривает их контроль современными средствами и неразрушающими методами дефектоскопии и исследования (УЗД, МПД, М-ЛЮМ-А, ЛЮМ-А, ВТД, ТВ переносными приборами, МР и др.) в зависимости от примененного материала — аустенитных (на никелевой и железоникелевой основе), перлитных, хромистых сталей и защитных покрытий различных марок на лопатках, зон контроля деталей, вида, места расположения дефектов и удобства проведения контроля. Не допускается химическое травление металла для выявления трещин.

2.6 При визуальном контроле деталей необходимо обращать внимание, помимо трещин, на присутствие рисок, острых кромок, выполненных с отступлением от чертежных размеров, наличие коррозии или эрозии, солевых отложений, цветов побежалости, притертостей (следов задеваний), концентраторов напряжений в виде острых углов или наличия сварочного грата у отверстий под демпферную связь в лопатках, непроваров в сварных швах, коробления в корпусах цилиндров и других деталях турбин и компрессоров.

Визуальный контроль осуществляется перед зачисткой, после промывки и очистки от окалины, отложений и пыли поверхностей деталей для обнаружения видимых дефектов и определения степени подготовки поверхности металла для проведения дефектоскопии специальными методами. При ВК могут быть использованы оптические средства, например лупы ЛПК-470, ЛПК-171, БЛ-1, БЛ-2, эндоскопы в недоступных местах.

2.7 На валах роторов турбин и компрессоров при наличии на них разгрузочных канавок обязательному контролю подвергается дно канавок на отсутствие кольцевых трещин после тщательной подготовки поверхности путем зачистки без нарушения геометрии канавок.

2.8 На рабочих и сопловых (направляющих) лопатках турбины и компрессора контролю подвергаются входные и выходные кромки на ширине 10 — 15 мм со стороны спинки и корыта по всей длине лопатки и места радиусного перехода

пера к замку на полосе 30 мм по ширине лопатки, включая кромки. Хвостовые части рабочих лопаток в сборке с гребнем диска подвергаются контролю с торцов на наличие трещин, выходящих из углов посадочных пазов, гребней диска и полок хвоста рабочих лопаток. В этих же местах при необходимости проверяется твердость металла переносным прибором. Наличие трещин в хвостах рабочих лопаток, компрессоров может выявляться с помощью УЗД полок лопаток.

2.9 Рабочие лопатки турбин, имеющие отверстия под демпферную связь, подвергаются цветной дефектоскопии. Участки поверхности для контроля: у отверстия размером 10×10 мм, внутренняя поверхность отверстия по всей площади с радиусными переходами на спинку и корыто лопатки. Поверхность металла этих участков для проведения дефектоскопии подготавливается с помощью тонкой наждачной бумаги без нарушения геометрии лопатки, в особенности радиусных переходов.

2.10 Дефектоскопия лопаток компрессоров проводится после промывки от сажистых отложений 100% их поверхности.

2.11 Подготовка поверхностей для контроля методами ЦД, ЛЮМ-А осуществляется после промывки и механической полировки контролируемых участков до блестящего металла (до чистоты поверхности 1,25). Для проведения МПД и ВТД требуется очистка поверхности от отложений и грязи (пыли), лопатки с защитными покрытиями перед контролем промываются только водой.

2.12 На корпусных и сварных деталях, выполненных из литья, проката или толстого листа, контролю подвергаются места радиусных переходов и зоны сварных швов после зачистки полос шириной 50 мм с каждой стороны шва.

2.13 Места, вызывающие сомнение при визуальном контроле, подвергаются зачистке и дефектоскопии любым из указанных и подходящих для данной детали методов.

3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА ДЕТАЛЕЙ ГТУ, ПРОРАБОТАВШИХ СВЕРХ РЕСУРСА, УСТАНОВЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯМИ-ИЗГОТОВИТЕЛЯМИ

3.1 Исчерпание установленного предприятиями-изготовителями ресурса металла деталей ГТУ не исключает возможности дальнейшей их эксплуатации иногда после проведения восстановительной механической и термической обработок.

Для продления ресурса эксплуатации деталей ГТУ сверх установленного предприятием-изготовителем срока надо выполнить:

— анализ условий эксплуатации;

— изучение результатов контроля металла в исходном состоянии и за весь отработанный срок;

— контроль геометрии детали (при необходимости);

— исследование структуры и свойств металла (с вырезкой или без вырезки проб из габаритных деталей или на демонтированных лопатках, шпильках и других малогабаритных деталях);

— анализ опыта эксплуатации соответствующих деталей;

— расчет остаточного ресурса. Весь ресурс принят за 1, доля остаточного ресурса < 1.

3.2 Расчет остаточной долговечности деталей ГТУ основывается на оценке напряженного состояния металла в характерных тепловых и аварийных режимах. Расчетная оценка поврежденности должна учитывать основные факторы нагружения, приводящие к исчерпанию запаса длительной прочности и ползучести, поврежденности от мало- и многоцикловой усталости.

Для расчета остаточной долговечности необходима полная информация о режимах эксплуатации, хранимая на электростанциях на бумажных и магнитных накопителях:

— параметры установки в типовых и аварийных режимах (температура, давление, мощность, длительность), условия окружающей среды, значения неравномерностей температур газа за турбиной;

— геометрические размеры детали (при необходимости);

— характеристики физико-механических и жаропрочных свойств;

— скорость подрастания обнаруженных трещин в отдельных деталях (корпусных и др.).

Остаточный ресурс определяется по формуле

$$N_0 = \frac{d_0}{d_f + d_s t_0} = \frac{A - D_c - D_y}{d_f + \sum d_s t_0}, \quad (1)$$

где d_0 — относительная величина остаточного ресурса ($d_0 < 1$);

A — поврежденность, соответствующая разрушению (принимаем < 0,5);

D_c — поврежденность от ползучести, накопленная при эксплуатации;

D_y — поврежденность от много- и малоцикловой усталости, накопленная при эксплуатации;

d_f — поврежденность от цикличности нагружения (одного пуска-останова);

d_s — поврежденность от ползучести за 1 ч работы при напряжении σ и температуре стационарного режима;

t_0 — длительность действия нагрузки в стационарном режиме.

3.3 К эксплуатации сверх установленного ресурса допускаются элементы, металл которых удовлетворяет критериям оценки состояния, приведенным в разделе 5 настоящей Инструкции, а также расчетам остаточного ресурса.

4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА И РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ ГТУ

4.1 При обнаружении трещин или исчерпании установленного ресурса проводится контроль и исследуется состояние элементов ГТУ, чтобы оценить их пригодность к даль-

нейшей эксплуатации и принять решение о продлении ресурса. Расчетно-конструкторская оценка возможности дальнейшей эксплуатации и остаточного ресурса проводится на основании фактических результатов исследования с использованием нормативной документации.

4.2 Корпусные детали турбин и компрессоров при наличии трещин глубиной:

– менее 40% номинальной толщины стенки корпуса турбины или компрессора (литье, листовой прокат); после их выборки следует заварить место выборки;

– 40% и более номинальной толщины стенки корпусов; для оценки надежности состояния металла и возможности заварки мест выборки следует вырезать заготовку металла вблизи места расположения трещин, позволяющую изготовить два ударных образца размером 10×10×55 мм и два разрывных образца длиной 36 мм и диаметром головки 6 мм для определения уровня механических свойств.

4.3 Детали проточной части турбин:

4.3.1 Для принятия решения о продлении срока службы цельнокованых роторов (или их частей) турбин, исчерпавших свой ресурс, после проведения дефектоскопии следует провести:

– исследование МР микроструктуры металла полотна диска первой по ходу газа ступени ротора турбины в двух диаметрально противоположных точках;

– измерение твердости металла полотна диска первой по ходу газа ступени ротора турбины в тех же зонах;

– расчетно-конструкторский анализ обеспечения нормативных требований по запасам прочности и долговечности.

4.3.2 Для принятия решения о продлении срока службы поврежденных или исчерпавших ресурс металла сопловых и рабочих лопаток турбины после проведения дефектоскопии всей ступени следует отобрать 1 – 2 лопатки каждой ступени ротора для проведения следующих исследований основного металла (пера и хвоста):

— химического анализа;

— макро- и микроструктуры по высоте и ширине пера и хвоста;

— механических свойств при комнатной и рабочей температурах, 100-часовой длительной прочности на соответствие требованиям ТУ;

— жаропрочных свойств с определением значения предела длительной прочности;

— расчетно-конструкторского анализа обеспечения нормативных требований по запасам прочности и долговечности.

С учетом поврежденности поверхности металла и фактических значений характеристик механических и жаропрочных свойств, а также структуры определяется возможность проведения восстановительной обработки (механической со снятием поврежденного поверхностного слоя и термической).

При наличии антикоррозионного защитного или термобарьерного покрытия на лопатках для оценки его состояния и определения возможности восстановления следует:

— измерить толщину;

— определить характер микроповреждений;

— измерить твердость (микротвердость);

— исследовать микроструктуру;

— провести микрорентгеноструктурный анализ.

4.3.3 Шпильки корпусов цилиндров турбин

Для принятия решения о продлении срока службы крепежа после проведения дефектоскопии и измерения твердости металла на 100% шпилек из работавших в горячих зонах разъема корпуса цилиндра отбирается одна, имеющая наименьшую твердость, а другая — максимальной твердости для исследования соответствия их механических свойств нормативным документам.

Твердость измеряется на торце шпильки, количество отпечатков должно быть не менее двух.

5 НОРМЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТУ

5.1 Корпусные детали турбин и компрессоров

5.1.1 Критерием надежности металла корпусов цилиндров турбин и компрессоров является соответствие их механических свойств нормам технических условий (таблица 4).

В случае несоответствия результатов испытаний механических свойств нормам технических условий вопрос о необходимости дополнительных испытаний для установления причин повреждения определяет профильный НИИ.

На поверхности корпусных деталей не допускаются трещины и грубые механические повреждения. Допустимые дефекты металлургического происхождения должны соответствовать нормам ОСТ 108.961.02. Вопрос о выборке и заварке трещин в труднодоступных местах рекомендуется согласовывать с предприятием-изготовителем и профильным НИИ.

5.2 Роторы турбины

5.2.1 На поверхности роторов турбин и компрессоров до и после их эксплуатации (концевые части валов, осевой канал, обод, гребни, полотно, ступица, галтели дисков, полумуфты, тепловые канавки) не допускаются дефекты, превышающие требования ОСТ 108.961.05 (например, трещины, скопления и крупные одиночные неметаллические включения, флокены, раковины, остатки усадочных рыхлот).

Кроме этого, после эксплуатации на поверхности всех элементов роторов не допускаются трещины, коррозионные язвы, следы эрозионного износа, нарушающие их первоначальную геометрию, следы задеваний и механических повреждений, грубые риски и следы электроэрозии на поверхности шеек в местах посадки подшипников, грубые риски на призонных поверхностях отверстий под болты на полумуфтах, превышающие нормы предприятия — изготовителя турбины.

В процессе эксплуатации не допускаются изменения вследствие ползучести металла диаметра дисков и геометрических размеров хвостовых соединений горячих зон ротора, выходящие за пределы установленного допуска.

Таблица 4 – Механические свойства при температуре 20°С металла корпусов цилиндров и компрессоров по НД

Сталь	НД	Механические свойства (не менее)				
		Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение, ψ, %	Ударная вязкость *KCU*, МДж/м^2
25Л (корпусные детали)	ОСТ 108.961.02	240	450	19	30	0,4
12МХЛ (корпусные детали)	–«»–	200	400	20	40	0,5
20ХМЛ (цилиндры)	–«»–	250	470	18	30	0,3
20ХМФЛ (цилиндры)	–«»–	280–550	600	16	35	0,3
15Х1М1ФЛ (цилиндры, корпуса клапанов)	–«»–	300–550	600	15	35	0,3
20ГСЛ (корпусные детали)	ТУ предприятия-изготовителя	280	500	18	30	0,3
12МХ (лист)	То же	240	420	21	45	0,6
ЭИ403МЛ (корпусные детали)	ТУ НЗЛ	200	400	15	25	0,4

5.2.2 Недопустимы превышения рабочей температуры при эксплуатации:

– роторных сталей – выше указанных в ОСТ 108.961.05;

– перлитных сталей:

34ХН1МА, 34ХН3МА, 27ХН3М2ФА, 30ХЮМ2ФА, 35ХЮМФА – 350°С;

Р2, Р2МА (25Х1М1ФА) – 530°С;

20Х3МВФ (ЭИ415) – 545°С;

– стали мартенсито-ферритного класса ЭП291 – 550°С;
– сталей мартенситного класса ЭИ428, ЭИ802 (15Х12ВНМФ), ЦДМ1 (10Х12Н3М2ФШ), ЭП674Ш (08Х15Н25Т2МФР), ЭИ609 (07Х12НМВ6) – 580°С.

5.2.3 Степень сфероидизации бейнита в микроструктуре металла ротора из перлитных сталей (Р2, Р2МА, ЭИ415) не должна превышать 3-го балла по ОСТ 34-70-690.

5.2.4 Твердость металла роторов из сталей 34ХМА, Р2, Р2МА должна быть не менее 1800 МПа, а роторов из стали 20Х3МВФ (ЭИ415) – 2000 МПа. Металл роторов из перлитных Cr-Ni-Mo и Cr-Ni-Mo-V сталей 34ХН1М, 34ХН3М, 27ХН3М2ФА, 26ХН3М2ФАА (УВРВ), 35ХН3МФА, 30ХН3М2ФА должен иметь предел текучести 680-800 МПа и твердость 2300-2650 МПа, а из хромистой стали ЭИ802 (15Х12ВНМФ) – предел текучести 666-813 МПа и твердость 2410-2850 МПа.

5.2.5 Механические свойства при температуре 20°С по НД и после эксплуатации металла роторов и дисков ГТУ приведены в таблице 5.

5.3 Шпильки корпусов цилиндров турбин

Критериями оценки надежности металла шпилек корпусов цилиндров являются твердость и механические свойства, которые даны в таблице 6 в зависимости от продолжительности эксплуатации. Не допускаются трещины и грубые механические повреждения. Металл поврежденных шпилек с трещинами подлежит исследованию. Если механические свойства металла исследованных шпилек не удовлетворяют требованиям, указанным в таблице 6, то все шпильки подлежат замене.

5.4 Лопатки

5.4.1 Металл направляющих и рабочих лопаток турбин и компрессоров должен удовлетворять по химическому составу требованиям ГОСТ 5632, ОСТ 108.020.03, а также техническим условиям, индивидуальным для лопаток из материалов разных марок, в особенности из изготавливаемых по новым литейным технологиям (монокристаллические с на-

правленной кристаллизацией и др.) или по новым технологиям штамповки на разных предприятиях-изготовителях.

5.4.2 На лопатках не допускаются трещины, следы задеваний, механические повреждения (риски, забоины, вмятины, в особенности на кромках, галтелях прикорневых зон), коррозионные язвы, в том числе на лопатках с защитным покрытием (особенно на выходных кромках и галтелях), следы общей коррозии, утоняющие рабочее сечение. Геометрические размеры лопаток (толщина кромок, особенно прикорневых зон и др.) должны соответствовать проектным.

5.4.3 Не допускаются трещины, разрушения бандажей и 2-образных связей, их повреждение, заклинивание в отверстиях лопаток, трещины в отверстиях под связи, наличие сварочного грата возле них.

5.4.4 Для основного металла лопаток из сплавов ЭИ893ВД, ЭИ893ОИ, ЭИ893ВИ (в том числе с защитными покрытиями) рекомендованы следующие критерии эксплуатационной надежности (таблица 7):

– твердость основного металла 2170-3136 МПа;

– предел текучести $\sigma_{0,2}$ – не более 784 МПа;

– пластичность при кратковременном растяжении при температуре 20°С: относительное удлинение δ – не менее 15%, относительное сужение ψ – не менее 17%;

– ударная вязкость при температуре 20°С *KCU* – не менее 0,3 МДж/м^2;

– запас прочности по фактическому пределу длительной прочности – не менее 1,6;

– длительная пластичность $\delta_{дл}$ – не менее 5%;

– микроструктура основного металла с зерном размером 2-4 балла, карбидная ликвация не выше 2-го балла; размер γ' – фазы 0,07 – 0,12 мкм; конгломераты хромистых карбидов в микроструктуре размером не более 5 мкм; не допускается появления в тонкой дислокационной структуре трех систем скольжения и полос скольжения, образованных дислокационными скоплениями.

Наличие любого из этих признаков и тем более их совокупность ограничивают ресурс основного металла или делают лопатку непригодной к дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 Для металла литых диффузионно-хромированных направляющих лопаток из сплава ЖС6К первых ступеней ТВД и ТНД в ГТ-100 АО ЛМЗ жаропрочные свойства при температуре 750°С не являются лимитирующими ресурс факторами. По этим условиям лопатки со сравнительно низкими рабочими напряжениями могли бы работать значительно дольше, чем это отмечается в практике их эксплуатации.

Ограничивает общий ресурс этих лопаток длительностью 10 – 20 тыс. ч при температурах 750 и 700°С исчерпание защитных свойств хромированного слоя с образованием коррозионных язв и термоусталостных трещин на 25% лопаток, а также происходящее в основном металле резкое снижение кратковременных пластических свойств ($\delta_{кр} \leq 1\%$) и сближение величин характеристик прочностных свойств ($\sigma_в/\sigma_{0,2} \approx 1$). Происходит охрупчивание сплава в результате образования двойного карбида M_6C игольчатой формы, что приводит к уменьшению сопротивляемости циклическим нагрузкам. Этому способствуют концентраторы напряжений на выходной кромке в виде коррозионных язв глубиной 0,5 – 1,0 мм и возрастающая шероховатость поверхности металла, являющиеся очагами зарождения трещин в местах повышенных термических напряжений (галтель и прилегающие зоны выходной кромки у верхней массивной полки).

5.4.6 Для лопаток из сплавов ЭИ893 и ЖС6К (в том числе с защитными покрытиями) разработаны режимы восстановления покрытий и основного металла.

5.4.7 Для металла лопаток 3-й ступени ГТ-35, изготовленных из аустенитной стали ЭИ612, при рабочей температуре 540°С в полупиковом и базовом режимах эксплуатации в качестве критерия надежности рекомендована твердость по Бринеллю не выше 2550 МПа.

5.4.8. Для основного металла лопаток из хромистой стали ЭИ802 (15Х12ВНМФ) 4-й ступени ГТ-35 с рабочей температурой 450°С в полупиковом и базовом режимах рекомендованы следующие критерии эксплуатационной надежности:

– предел текучести при температуре 20°С не выше 830 МПа;

– твердость НВ не выше 2860 МПа.

Таблица 5 – Механические свойства при температуре 20°С металла роторов и дисков ГТУ по НД и после эксплуатации

Сталь	НД и категория прочности металла	Направление вырезки образцов	Механические свойства при температуре 20°С в исходном состоянии по техническим условиям и после эксплуатации						
				Не менее					
			Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость *KCU*, МДж/м^2	Твердость НВ, МПа	Угол изгиба, градусы
Р2М (25Х1М1ФА)	ТУ 108.1029 III категория прочности	Продольное	490–667	618	16	40	0,4	–	180
ЭИ415 (20Х3МВФА)	То же	–«»–	589–736	736	13	40	0,5	–	150
34ХН1МА, 34ХН3МА, 35ХН3МФА, 27ХН3М2ФА, 30ХН3М2ФА	ТУ 108.1028 V категория прочности	–«»–	667–834	834	14	40	0,6	–	150
26ХН3М2ФАА (УВРВ)	ТУ 108.11-847 III категория прочности	–«»–	840	960	13	44	0,54–0,55	2410–2850	–
ЭИ802 (15Х12ВНМФ)	ТУ 2069	Продольное Тангенциальное	588–715 588–715	745 745	15 14	35 32	0,45 0,40	2410–2850 –	180 150

Таблица 6 – Механические свойства металла крепежа при температуре 20°С

Материал	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость *KCU*, МДж/м^2	Твердость по Бриннелю, МПа
ЭП182 (20Х1М1Ф1ТР)	Шпильки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
	667-784	Не менее				2410-2770
		784	15	50	0,6	
	После 100 тыс. ч и более эксплуатации					
	620-800	Не менее				2210-2690
		770	15	50	0,4	
ЭИ723 (25Х2МФ1)	Шпильки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
	667-784	Не менее				2410-2770
		784	12	50	0,5	
	После 100 тыс. ч и более эксплуатации					
	620-800	Не менее				2210-2690
		720	12	50	0,4	
	Гайки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
						1970-2290
ЭИ10 (25Х1МФ)	Шпильки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
	667-784	Не менее				2410-2770
		784	16	50	0,6	
	После 100 тыс. ч и более эксплуатации					
	620-800	Не менее				2210-2690
		710	12	45	0,4	
	Гайки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
						1970-2290
ЭИ993 (18Х12ВМБФР)	Шпильки. Исходное состояние по ГОСТ 20700					
	680-800	Не менее				2410-2770
		830	15	50	0,6	
	После 100 тыс. ч и более эксплуатации					
	620-800	Не менее				2210-2770
		750	15	45	0,4	

Таблица 7 – Механические и жаропрочные свойства материалов, примененных для лопаток газовых турбин ГТ-35, ГТЭ-45, ГТ-100, ГТЭ-110, ГТЭ-150

Турбина, материал, технология	Технические условия; количество часов эксплуатации (количество пусков), температура эксплуатации	$T_{исп}$ °С	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость *KCU*, МДж/м²	Твердость по Бриннелю, МПа	Время до разрушения, напряжение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГТ–35 ЭИ893ОИ (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 108.02.005	20 750	490–666 ≥ 392	≥ 833 ≥ 637	≥ 20 ≥ 11	≥ 25 ≥ 15	≥ 0,6 –	2170–2770	– 500 ч, σ = 290 МПа
ГТ–100, ЭИ893ВД (рабочие лопатки штампованные с защитным ЭЛП покрытием *Co–Cr–Al–Y в* вакууме)	ТУ 108.02.103	20 750	490–666 –	≥ 833 ≥ 637	≥ 20 ≥ 20	≥ 22 ≥ 20	≥ 0,6 –	2170–2770	– 500 ч, σ = 290 МПа
ГТ–35 ЭИ612 (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 108.02.118	20	≥ 392	≥ 735	≥ 20	≥ 20	≥ 0,5	2027–2499	–
ГТ–35, ЭИ802 (рабочие лопатки штампованные)	ОСТ 108.020.03	20	666–813	≥ 784	≥ 13	≥ 40	≥ 0,4	2362–2803	–
ГТ–45, ЭП800ВД (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 108.02.125	20 800	637–784 ≥ 588	≥ 1078 ≥ 810	≥ 14 ≥ 8	≥ 15 ≥ 12	≥ 0,3 –	≥ 2600 –	– 100ч, σ = 392 МПа

ГТЭ–150, ЭП957ВД (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 108.020.01.060	20 800	≥ 882 ≥ 784	≥ 1170 ≥ 833	≥ 10,0 ≥ 5,0	≥ 10,0 –	≥ 0,25 –	3400 – 3850 –	– 100 ч, σ ≈ 320 МПа
ГТ–100, ГТ–150, ЭИ607ВД (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 108.01.059	20	450–630	≥ 850	–	–	≥ 0,6	≥ 2230	–
ГТЭ–115, ЭК78 (рабочие лопатки штампованные)	ТУ 14–1–2970	20 750 780	≥ 685 ≥ 588 –	≥ 1130 ≥ 880 –	≥ 20 ≥ 15 –	≥ 20 ≥ 20 –	≥ 0,49 – –	– – –	– – 100 ч, σ ≈ 441 МПа
ГТЭ–110 ЧС88У–ВИ (рабочие лопатки литые)	ТУ 1–809–1040–97	600 900	– –	≥ 882 ≥ 637	≥ 4,0 ≥ 8,0	≥ 5,0 ≥ 10,0	– –	– –	– 100 ч, σ ≈ 274 МПа
ГТЭ–150, ЖС6К (рабочие лопатки литые)	ТУ 03–740	20 800	≥ 800 –	≥ 900 –	≥ 2,5 –	– –	≥ 0,15 –	– –	– 100 ч, σ ≈ 450 МПа
ГТ–35, ЭИ680 (направляющие лопатки штампованные)	ТУ 108.02.118	20	≥ 2156	≥ 549	≥ 35	≥ 45	≥ 0,8	1430–1730	–
ГТ–100, ЖС6К (направляющие лопатки литые)	ТУ 108.02.104	20 800	≥ 784 –	≥ 882 –	≥ 2,5 –	– –	– –	– –	100 ч, σ ≈ 490 МПа
ГТЭ–45, ЭП539ЛМУ (направляющие лопатки литые)	ТУ 108.02.066	20 850	– –	≥ 728 –	≥ 3,0 –	– –	– –	– –	– 100 ч, σ ≈ 284 МПа
ГТЭ–150, ЦНК – 7РС (направляющие лопатки литые)	ТУ 108.01.057	20 800 850	≥ 784 – ≥ 686	≥ 882 – ≥ 735	≥ 3,0 – ≥ 3,0	– – –	≥ 0,15 – –	– – –	– 100 ч, σ ≈ 441 МПа –
ГТЭ–110, ЧС104ВИ (направляющие лопатки литые)	ТУ 1–809–1040–97	800 900	≥ 441 –	≥ 588 –	≥ 5,0 –	– –	– –	– –	– 100 ч, σ ≈ 167 МПа

5.4.9 Критериями эксплуатационной надежности хромированного слоя в направляющих лопатках из сплава ЖСК6 в ГТ-100 после эксплуатации являются:

– отсутствие трещин, коррозионных язв и сколов;

– фактическая толщина оставшегося слоя не менее 40 мкм (в исходном состоянии толщина его 100–120 мкм); содержание хрома не менее 35% (а в исходном состоянии его содержание составляет 65–70%);

– значение микротвердости не ниже, чем у основного металла.

5.4.10 Критериями эксплуатационной надежности защитных покрытий (металлических Co-Cr-Al-Y, металлокерамических Co-Cr-Al-Y/ZrO_2 + Y_2O_3), наносимых электронно-лучевым способом в вакууме, и вакуумно-плазменных после эксплуатации являются:

– отсутствие в защитном слое трещин, микротрещин, коррозионных язв и сколов;

– фактическая толщина оставшегося слоя не менее 50 мкм;

– значение микротвердости не ниже, чем у основного металла;

– толщина слоя оксидов между керамическим слоем покрытия и металлическим слоем не более 5 мкм;

– отсутствие слоя оксидов между защитным покрытием и основным металлом.

5.5 Диафрагмы

5.5.1 На диафрагмах не допускаются трещины, следы задеваний и других механических повреждений ободов и лопаток, общая и язвенная коррозия и эрозия, нарушающие геометрию поверхности этих элементов, а также остаточная деформация, при которой возможно задевание.

Приложение 1

(образец)

ФОРМУЛЯР ГТУ,
ОТРАБОТАВШЕЙ РАСЧЕТНЫЙ РЕСУРС

Наименование электростанции_____
Дата обследования_____
Газотурбинная установка _____
(тип ГТУ, станционный и заводской номера)

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Турбина (или компрессор)

Станционный номер	Заводской номер	Тип турбины	Завод-изготовитель	Номер паспорта	Дата пуска	Температура газа перед турбиной, °С	Продолжительность работы с начала эксплуатации, ч	Количество пусков	
								под нагрузкой	без нагрузки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Расчетное давление газа_____МПа
Расчетная температура газа_____°С

2 СВЕДЕНИЯ О КОНТРОЛЕ ЗА МЕТАЛЛОМ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТУ

2.1 Роторы турбин и компрессоров

Тип ротора	Завод-изготовитель, заводской номер ротора	Сведения о режимах работы	Сведения о сроках ремонта	Значения прогиба ротора по годам, мм	Наличие задеваний и механических повреждений	Состояние поверхности осевого канала	Результаты дефектоскопического контроля	Описание микроструктуры	Твердость, НВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2.2 Лопатки турбин и компрессоров

Рабочие лопатки					Направляющие лопатки		
Сведения о повреждениях по годам	Сведения о режимах работы	Сведения о наличии механических повреждений, коррозии, эрозии по годам	Результаты дефектоскопического контроля, сведения о наличии трещин, зонах, количестве поврежденных лопаток	Сведения об обрывах или повреждениях по годам	Сведения о повреждениях по годам	Сведения о наличии механических повреждений, коррозии, эрозии по годам. Места повреждения, количество поврежденных лопаток	Результаты дефектоскопического контроля, сведения о наличии трещин, местах их образования, количестве поврежденных лопаток
1	2	3	4	5	6	7	8

2.3 Диски, валы турбин и компрессоров

Заводской номер (клеймо)	Наличие задевания, механических повреждений	Наличие трещин, коррозии и эрозии на поверхности дисков по годам	Результаты контроля дисков	Сведения о режимах работы
1	2	3	4	5

2.4 Корпуса цилиндров турбин и компрессоров

Сведения о режимах работы	Результаты контроля по годам	
	Основной металл	Сварные швы
1	2	3

2.5 Пламенные трубы, коллекторы

Сведения о режимах работы	Результаты контроля по годам		
	Пламенные трубы	Коллекторы	
		Основной металл	Зоны ремонтных подварок
1	2	3	4

Приложение 2

(образец)

РЕШЕНИЕ

ЭКСПЕРТНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОМИССИИ, ОРГАНИЗОВАННОЙ СОГЛАСНО ПРИКАЗУ

_____

(наименование РЭУ, ПЗУ)

от "___"_____г. № _____ по установлению срока эксплуатации турбины_____ст. № _____

ГРЭС (ТЭЦ), город

Характеристика оборудования _____

Техническое состояние_____

_____

Экспертно-техническая комиссия рассмотрела следующие материалы:

1._____

2._____

3._____

4._____

Перечисленная документация и объем проведенных работ соответствуют требованиям инструкции.

Анализ результатов обследования показывает, что качество металла основных деталей ГТУ удовлетворяет требованиям технических условий, инструкций и других нормативных документов.

На основании изложенного комиссия решила:

Разрешить дальнейшую эксплуатацию ГТУ ст. № _____ при температуре газа_____ °С в течение_____ ч.

Председатель комиссии: _____

Члены комиссии: _____

_____

_____

_____

_____

Содержание

1 Общие положения 3
2 Организация, объемы, методы, сроки проведения и подготовка металла деталей к контролю в пределах установленного ресурса 9
3 Порядок проведения контроля металла деталей ГТУ, проработавших сверх ресурса, установленного предприятиями-изготовителями 29
4 Основные методические требования к проведению исследования структуры и свойств металла и расчетно-конструкторской оценки элементов ГТУ 30
5 Нормы и критерии оценки качества металла основных деталей ГТУ 33
Приложение 1. Формуляр ГТУ, отработавшей расчетный ресурс 43
Приложение 2. Решение экспертно-технической комиссии 45

Подписано к печати 02.02.2004
Печать ризография
Усл.печ.л. 2,9 Уч.-изд. л. 3,0
Тираж 200 экз.
Заказ № 557
Издат. № 03-38

ЦПТИ ОРГРЭС
107023, Москва, Семеновский пер., д. 15

gost.e-ecolog.ru