

**#1
2017**



Председатель редакционного совета:

КАНЕШЕВ БИРЖАН БИСЕКЕНОВИЧ

Председатель Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

Члены редакционного совета:

ТОКАНОВ Т.Д.

Генеральный директор РГП «Казахстанский институт метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

БАЙХОЖАЕВА Б.У.

Заведующая кафедрой «Стандартизация и сертификация» Евразийского Национального университета имени Л.Н. Гумилева, доктор технических наук, профессор

САВИНКИН В.В.

Заведующий кафедрой «Транспорт и машиностроение» Северо-Казахстанского государственного университета

НИЯЗБЕКОВА Р.К.

Заведующая кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, доктор технических наук, профессор

АБСЕИТОВ Е.Т.

и.о. доцента кафедры «Стандартизация и сертификация» Евразийского Национального университета имени Л.Н. Гумилева, кандидат технических наук

ЕРЖИГИТОВ Е.С.

Заместитель директора Южно-Казахстанского филиала РГП «Казахстанский институт метрологии», кандидат сельскохозяйственных наук

Учредитель:

Республиканское государственное предприятие «Казахстанский институт метрологии»

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается только с разрешения редакции. При использовании материалов ссылка на журнал обязательна. Присланные материалы не рецензируются и не возвращаются. Точка зрения автора может не совпадать с мнением редакции. Редакция не несет ответственности за достоверность рекламной информации.

Адрес редакции: Республика Казахстан, 010000, г. Астана
Левый берег р. Ишим,
пр. Маңгілік ел, 11
Эталонный центр
Тел.: 8 (7172) 75-07-30
e-mail: ops52@list.ru

Дизайн и верстка журнала:
Степанец Наталья

Отпечатано: ОО «Павлодарское добровольное общество инвалидов»

Тираж 200 экземпляров.

Канешев Б.Б.

СОБЫТИЯ

32-я Генеральная
Обсуждение п
РГП «КазИнМетр
Рабочая встре
23-е заседание
комитет Фор
Семинар по ра
обеспечения ед
37-е заседание

МЕЖДУНАРОДНОЕ

Тлектесова А.У.
Германии (РТВ)
качества в стр

ИЗМЕРЕНИЕ

Демьяненко А.В.
неразрушающ
в условиях ТОО
Плахтий В.А., К
бесперебойного
Савинкин В.В., А
внутренних нап
памяти металла

ДЕЛИМСЯ ОПЫТОМ

Александров В.В.,
стандарта ISO
сектора по прои
РГП «КазИнМетр
Чубрик В.М. Мет
Матвеев А. Проб
установок (АГЗУ)
Кошекков К.Т., Лук
PSCAD для модел
Бабушкина З.Н., Р
повышения квали
Мусенов В.Ю. Апп
новый подход к ме
Байхожаева Б.У., Ж
Республики Казах

МЕТРОЛОГИЯ И

Об оказании госуд
аттестации сред
Посещение участн
ТОО «Казахстанск

Содержание

Канешев Б.Б. Стандартизация в сфере услуг.....	2
--	---

СОБЫТИЯ

32-я Генеральная Ассамблея Азиатско-Тихоокеанской Метрологической Программы.....	5
Обсуждение перспективных направлений в области метрологии между РГП «КазИнМетр» и ФГУП «ВНИИФТРИ».....	7
Рабочая встреча во ВНИИОФИ.....	8
23-е заседание Технического комитета КООМЕТ ТК 3.1 «Технический комитет Форума качества» и 18-ое заседание Форума качества КООМЕТ.....	9
Семинар по разъяснению положений нормативных документов в области обеспечения единства измерений Евразийской экономической комиссии.....	11
37-е заседание JCRB BIPM в г. Севр, Франция.....	14

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Тлектесова А.У. Сотрудничество с Федеральным физико-техническим институтом Германии (PTB) в рамках проекта «Поддержка развития инфраструктуры качества в странах Центральной Азии».....	16
---	----

ИЗМЕРЕНИЕ: ПРАКТИКА, МЕТОДИКА, ТЕОРИЯ

Демьяненко А.В., Ахметова Д.А., Джамбиева Т.С. Рекомендации по неразрушающему контролю отливок методом ультразвуковой дефектоскопии в условиях ТОО «ЗМО».....	19
Плахтий В.А., Кошеков К.Т. Преимущества трехфазных источников бесперебойного питания.....	27
Савинкин В.В., Абильмажинова А.А., Ратушная Т.Ю. Исследования концентрации внутренних напряжений в лопатках турбины ТЭЦ методом магнитной памяти металла.....	33

ДЕЛИМСЯ ОПЫТОМ

Александров В.В., Насибулина А.И. Внедрение требований международного стандарта ISO/Guide 34:2009 к производителям стандартных образцов на базе сектора по производству поверочных газовых смесей Карагандинского филиала РГП «КазИнМетр».....	43
Чубрик В.М. Метрологическая экспертиза нормативных и технических документов...	50
Матвеев А. Проблемы введения автоматизированных групповых замерных установок (АГЗУ) на территории Республики Казахстан.....	56
Кошеков К.Т., Пукема О.Н. Перспективы применения программного обеспечения PSCAD для моделирования процессов в энергетической отрасли.....	59
Бабушкина З.Н., Рудницкая Е.В. Система профессиональной переподготовки и повышения квалификации специалистов в области метрологии.....	62
Мусенов В.Ю. Аттестация программного обеспечения средств измерений как новый подход к метрологическому контролю в Республике Казахстан.....	70
Байхожаева Б.У., Жайманова Ы.Т. Актуальные проблемы транспортного комплекса Республики Казахстан.....	75

МЕТРОЛОГИЯ И БИЗНЕС

Об оказании государственной услуги «Выдача сертификата о метрологической аттестации средств измерений».....	80
Посещение участника специальной экономической зоны «Астана – новый город» ТОО «Казахстанский завод современных технологий».....	81

Измерение: практика, методика, теория

УДК 621.121

ИССЛЕДОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛОПАТКАХ ТУРБИНЫ ТЭЦ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА

Савинкин В.В., д.т.н., зав. кафедрой «Транспорт и машиностроение» СКГУ
им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

Абильмажинова А.А., магистр, эксперт 1 категории Лаборатории научной, инновационной деятельности и повышения квалификации РГП «КазИнМетр», г. Астана

Ратушина Т.Ю., докторант PhD, СКГУ им. М. Козыбаева

Исследованиями установлено [1, 2], что за время эксплуатации турбин ТЭЦ в рабочих лопатках создаются зоны концентрации напряжений, которые уменьшают усталостную прочность восстанавливаемых участков лопаток, работающих в условиях знакопеременных циклических нагрузок. Для рабочих лопаток, восстановленных плазменной наплавкой и напылением, необходимо в обязательном порядке проводить исследования на концентрацию внутренних напряжений.

Разрушения циклически изменяющихся по времени (циклические напряжения), под действием нагрузок, относят к категории усталостных. Если знак изменяется, напряжения относятся к знакопеременным, а при одном знаке их относят к пульсирующим. Закономерности изменения циклических напряжений от времени на практике бывают самыми различными – от вполне определенных, до беспорядочных, мало поддающихся какой-либо регламентации. В случае если фактический закон изменения циклической нагрузки от времени установить трудно, его необходимо условно принять за синусоидальный (рис. 1, а) [1, 2]. В качестве характеристик цикличности нагрузок

выбраны: объединение последовательных значений переменных напряжений за один период процесса их изменения; минимальное напряжение цикла σ_{min} , Н/м², наименьшее по алгебраическому значению напряжение цикла, равное алгебраической разности среднего напряжения цикла и амплитуды; максимальное напряжение цикла σ_{max} , Н/м²; наибольшее по алгебраическому значению напряжение цикла, равное алгебраической сумме среднего напряжения цикла и амплитуды; период цикла t – время одного цикла напряжения. Среднее напряжение цикла определяется по выражению:

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$$

амплитуда цикла:

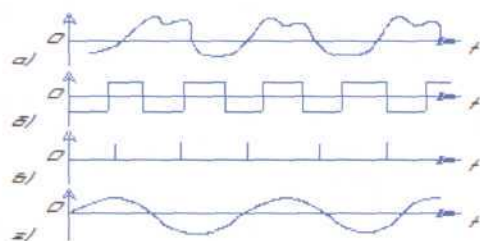
$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$$

размах цикла: $\sigma_a = \sigma_{max} - \sigma_{min}$

Коэффициент асимметрии цикла определяем и как

$$R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$$

и как $R = \tau_{min} / \tau_{max}$



а – общий случай периодической закономерности; б – прямоугольный; в – пилообразный; г – синусоидальный

Рисунок 1 – График нагрузок, изменяющихся по циклу, наиболее часто встречающихся в практике

Свойство металла противостоять усталости (выносливость) определяется пределом выносливости (предел усталости) σ_{R1} , Н/м², которое определяется значением максимального напряжения цикла с асимметрией R , соответствующей заданной долговечности. Предел выносливости при симметричном цикле σ_{-1} , это предел выносливости при условии, что σ_{max} равны σ_{min} , но противоположны по знаку, то есть $R = -1$. В случае, если имеет место симметричный цикл, уравнение будет подчиняться синусоидальному закону:

$$\sigma = \sigma_a \sin(\omega t + \phi),$$

Таблица 1 – Количество циклов изменения напряжений, которое соответствует разрушению отдельно взятых деталей

Наименование деталей	Количество циклов
Рельсы железных дорог	$0,15 \cdot 10^8$
Оси вагонов	$0,5 \cdot 10^8$
Коленчатые валы автомобильных двигателей	$1,2 \cdot 10^8$
Оси локомотивов	$4 \cdot 10^8$
Шатуны, поршневые штоки	$10 \cdot 10^8$
Валы паровых турбин	$150 \cdot 10^8$
Лопатки турбины	$170 \cdot 10^8$

где ω – частота циклов; ϕ – угол, определяющий начальную фазу.

Количество циклов, которое необходимо для разрушения различных деталей, зависит от эксплуатационных условий и представлено в таблице 1.

Уровень влияния многих факторов на усталость металлов можно оценить основными коэффициентами: коэффициентом концентрации напряжений и масштабный фактор. Коэффициент концентрации напряжений определяется из выражения:

$$a_\sigma = \sigma_{max} / \sigma_H \quad (1)$$

где σ_{max} – максимальное напряжение в зоне действия концентрации напряжений, Н/м²;

σ_H – номинальное напряжение в том же сечении, Н/м².

Масштабный фактор определяется из выражения:

$$e_\sigma = \sigma_{-1d} / \sigma_{-1} \quad (2)$$

где σ_{-1d} – предел выносливости образца произвольного диаметра, Н/м²;

σ_{-1} – предел выносливости образцов диаметром 7,5 мм, Н/м².

Испытания на усталость проводятся с помощью различных схем нагружения. Схема нагружения может быть статической, динамической, комбинированной. Наиболее характерно для усталостных испытаний использование циклического нагружения. В зависимости от характера нагружения различают статическое, динамическое, комбинированное и усталостное нагружение. Усталостное нагружение характеризуется наличием переменной составляющей. В зависимости от характера переменной составляющей различают симметричное, асимметричное и знакопеременное нагружение. Симметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения. Асимметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, но не достигает нуля. Знакопеременное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, проходя через нуль. В зависимости от характера переменной составляющей различают симметричное, асимметричное и знакопеременное нагружение. Симметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения. Асимметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, но не достигает нуля. Знакопеременное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, проходя через нуль.

Испытания на усталость проводятся с помощью различных схем нагружения. Схема нагружения может быть статической, динамической, комбинированной. Наиболее характерно для усталостных испытаний использование циклического нагружения. В зависимости от характера нагружения различают статическое, динамическое, комбинированное и усталостное нагружение. Усталостное нагружение характеризуется наличием переменной составляющей. В зависимости от характера переменной составляющей различают симметричное, асимметричное и знакопеременное нагружение. Симметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения. Асимметричное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, но не достигает нуля. Знакопеременное нагружение характеризуется тем, что напряжение изменяется от минимального до максимального значения, проходя через нуль.

Существующие методы контроля (визуальный, ультразвуковой, рентгеновский, радиографический, дефектоскопический) широко применяются для контроля качества деталей. Однако для контроля качества деталей необходимо использовать методы, позволяющие выявлять дефекты, которые не могут быть обнаружены с помощью традиционных методов. Одним из таких методов является метод ультразвукового контроля. Ультразвуковой контроль позволяет выявлять дефекты, которые не могут быть обнаружены с помощью традиционных методов. Одним из таких методов является метод ультразвукового контроля. Ультразвуковой контроль позволяет выявлять дефекты, которые не могут быть обнаружены с помощью традиционных методов.

Определять количество циклов нагружения можно с помощью различных методов. Одним из таких методов является метод статистического анализа. Статистический анализ позволяет определять количество циклов нагружения, которое соответствует разрушению деталей. Одним из таких методов является метод статистического анализа. Статистический анализ позволяет определять количество циклов нагружения, которое соответствует разрушению деталей.

пота циклов; ϕ – угол, опре-
дальную фазу.

циклов, которое необходи-
шения различных деталей,
сплуатационных условий и
в таблице 1.

ания многих факторов на
лов можно оценить основ-
циентами: коэффициентом
напряжений и масштабный
коэффициент концентрации
пределяется из выражения:

$$\sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{pr}} \quad (1)$$

максимальное напряжение
концентрации напряже-

ное напряжение в том же

фактор определяется из

$$\sigma_{-1}/\sigma_{-1}, \quad (2)$$

дел выносливости образца
диаметра, Н/м²;

выносливости образцов
мм, Н/м².

которое соответствует

личество циклов

Измерение: практика, методика, теория

Испытания на усталость проводят с помощью различных испытательных машин. Схема нагружения выбирается таким образом, чтобы создать в образцах напряженное состояние, которое будет характерно для работы деталей в условиях эксплуатации. К основным типам нагружения относят: чистый изгиб в одной плоскости; чистый изгиб при вращении; поперечный изгиб в одной плоскости круглых и не круглых образцов; поперечный изгиб при вращении круглых и не круглых образцов. В рассматриваемом случае при испытании лопаток турбин достаточно применить три типа нагружения: поперечный изгиб в одной плоскости, чистый изгиб в одной плоскости и кручение. Наиболее просто определяют предел выносливости при симметричном цикле нагружения образца, работающего на чистый изгиб. Максимальное напряжение рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M_x}{W_x}, \quad (3)$$

Испытания воспроизводят при различных напряжениях σ_{max} , результаты показывают в виде кривой усталости, которая называется кривой Веллера.

Существующие методы неразрушающего контроля (вихретоковый метод, цветной дефектоскопии, МПД, УЗК), которые широко применяются, имеют направленность по пути поиска и обнаружения уже сформированных трещин и других скрытых дефектов, что для обеспечения долговечности работы лопаток турбин не является достаточным. Они не дают возможности осуществить раннее диагностирование повреждений. В условиях достаточно большого межремонтного периода деталей элементов гидроагрегата при отсутствии раннего диагностирования состояния металла, внезапные концентрации напряжений неизбежны.

Определять концентрации внутренних напряжений в процессе эксплуатации возможно с помощью метода магнитной

памяти металла (МПМ). Этот способ очень эффективен для оценки ресурса лопаток гидроагрегата. С его помощью можно выполнить комплексную оценку состояния узла с учетом качества металла, фактических условий эксплуатации и конструктивных особенностей узла. По характеру распределения поля остаточной намагниченности представляется возможным

Схема нагружения выбирается таким образом, чтобы создать в образцах напряженное состояние, которое будет характерно для работы деталей в условиях эксплуатации.

определить наиболее напряженные узлы энергетического оборудования и зоны концентрации напряжений (ЗКН), предрасположенные к повреждениям.

Применение предложенного метода технической диагностики в сочетании с проверочными расчетами на прочность наиболее напряженных узлов, задача определения реального ресурса лопаток турбины становится выполнимой. Кроме того, предлагаемый способ диагностирования с помощью метода МПМ, даёт возможность по характеристике распределения поля остаточной намагниченности H_r вдоль поверхности детали, определить тон колебаний, т.е. оценить вибрационную надежность детали. В этом случае используют известный эффект поглощения энергии механических колебаний (демпфирование колебаний), который вызывает соответственный рост остаточной намагниченности лопаток. Способ диагностирования состояния штоков с использованием МПМ относится к экспресс-методам и позволяет в течении 3–4 часов непрерывной работы операто-

ра осуществить контроль не менее 100 лопаток гидроагрегата ТЭЦ.

Преимуществами нового магнитного метода исследования являются: не требуются специальные намагничивающие устройства, потому что используется явление намагничивания узлов в процессе их работы; места концентрации напряжений заранее не известны и определяются в процессе контроля; нет необходимости подготавливать контролируемую поверхность; для выполнения диагностирования используют приборы, которые имеют автономное питание, малые габариты и регистрирующие устройства (рис. 2).

ИКН-1М – регистрирующий прибор, созданный на базе микропроцессора, который позволяет проводить контроль лопаток турбин с отображением на экране распределения нормальной составляющей поля рассеивания H_p по длине контролируемого штока l_1 . Прибор ИКН-1М имеет в комплекте универсальный датчик, который позволяет осуществлять контроль деталей с различными размерами одним оператором.



Рисунок 2 – Прибор ИКН – 1М

Представленные теоретические основы концентрации напряжений применяются при проведении экспериментальной оценки внутренних напряжений лопаток турбин.

Проводя анализ теоретических основ внутренней напряженности и износо-

стойкости, можно сделать заключение о том, что эти факторы ограничивают лимит работы при определении долговечности лопаток и гидроагрегата в целом. Было определено, что на концентрацию напряжений и износостойкость влияют также факторы, возникающие в процессе эксплуатации (давление, температур, насыщенность пара влагой, вибрации, моменты инерции, угловая скорость и угловое ускорение) и динамические нагрузки, что говорит, о необходимости проведения производственных испытаний на ЗКН. Перед определением ЗКН проводился визуальный контроль всей ступени турбины, результаты представлены в акте дефектации оформленный в ТОО «РЕМПЛАЗМА» при проведении экспериментальных исследований.

Предметом исследования являются лопатки с категорией прочности КП-60 турбины Т – 100/120 после восстановления. Исследованию подвергались три серии лопаток: эталонная – новые лопатки производства ЗАО «Уральский турбинный завод»; восстановленные виброконтактной наплавкой; восстановленные плазменным способом по технологии, разрабатываемой в СКГУ им. М. Козыбаева совместно с ТОО «Ремплазма».

Целью настоящих исследований является получение количественных характеристик напряженности испытуемых лопаток турбины Т – 100/120 и сравнение их между собой.

Параметры, которые подвергались контролю: концентрация внутренних напряжений, которая для новых лопаток составляет $H_p=10$ А/мм; усталостная прочность, которая для новых лопаток составляет 17×10^6 циклов; область критического сечения; наличие отклонение от проектной геометрии, мм, (не выше новых).

Наряду с расчетными значениями величины концентрации напряжений при моменте изгиба, предусматривается их непосредственное измерение. Концен-

трация напряже
щью прибора
мание на тех
прибора, была
довательность
подсоединение
бора; проверка
каждого канала
калибровать да
лы; осуществит
калибрования б
обходимости от
жим отображен

К осно
ной пл
изгиб
попер
образи

прибора при к
т.д.); установи
рования; устан
установить уро
циента $K_{ин}$.

Контроль пр
чей поверхнос
наиболее под
му и усталостн
датчиком при
от коренного
к периферийн
цессе осуществ
не прибора И
фики распреде
по длине лопа
заносятся в э
прибора для да
мощью этого ж

Также, с пом
пределения по
ности H_p вдоль
же время опре

Измерение: практика, методика, теория

трация напряжений измеряется с помощью прибора ИКН-1М. Обращая внимание на технические характеристики прибора, была принята следующая последовательность проведения испытаний: подсоединение датчика; включение прибора; проверка правильности калибровки каждого канала. При необходимости откалибровать датчик или отдельные каналы; осуществить проверку правильности калибрования блока счёта длины. При необходимости откалибровать; выбрать режим отображения информации на экране

оценивают вибрационную надежность штока. Для этого используют известный эффект поглощения энергии механических колебаний (демпфирование колебаний), который вызывает соответственный рост остаточной намагниченности лопатки.

Непрерывная линия красного цвета на графике представляет изменение магнитного поля на метр длины образца А/м, в связи с этим, четких всплесков не видно. Прерывистая красная линия показывает допустимое значение напряжений для

К основным типам нагружения относят: чистый изгиб в одной плоскости; чистый изгиб при вращении; поперечный изгиб в одной плоскости круглых и не круглых образцов; поперечный изгиб при вращении круглых и не круглых образцов.

прибора при контроле (Все Н, Все dH и т.д.); установить контрольный шаг сканирования; установить базу сканирования; установить уровень предельного коэффициента $K_{ин}$.

Контроль проводится на длине рабочей поверхности лопатки, т.е. в местах, наиболее подверженных коррозионному и усталостному износу. Сканирование датчиком прибора ИКН-1М проводится от коренного сечения основания лопатки к периферийному или наоборот. В процессе осуществления контроля, на экране прибора ИКН-1М воссоздаются графики распределения поля рассеяния Нр по длине лопатки. Результаты контроля заносятся в энергонезависимую память прибора для дальнейшей обработки с помощью этого же прибора.

Также, с помощью характеристики распределения поля остаточной намагниченности H_p вдоль поверхности лопатки, в то же время определяют тон колебаний, т.е.

данного вида изделия. Непрерывная линия синего цвета графика (градиента) показывает места всплеска КН на каждом мм образца А/мм. Если знак изменяется, то это говорит о направлении изогнутости.

По итогам проведения контроля определяют места лопаток, которые работают в наиболее напряженных условиях. Такими местами являются те, у которых линии концентраций напряжений и деформации (линия Нр) располагаются поперёк лопатки и коэффициент интенсивности напряжений ($K_{ин}$) имеет максимальное значение. Значение коэффициента интенсивности напряжений будет определяться автоматически и отображаться на экране по вызову оператора (рис. 3).

Значения номинального напряжения и числа циклов до разрушения (а также базы испытаний, принятой за $170 \cdot 10^5$ циклов или $100 \cdot 10^3$ машино-часа), вносят в протокол испытаний данной серии. С использованием сводных протоколов, стро-

ят графики кривых повреждаемости и вычисляются корреляционные уравнения кривых выносливости. Затем проводится анализ долговечности испытанных серий.

Порядок статистической обработки полученных данных энергетических испытаний лопаток принят следующий. Из сводного протокола выписываются значения действующих напряжений и число машино-часов (наработка) до разрушения ис-

пытанных образцов ($\sigma = x: M_j$) и заносятся в таблицы. Вычисления в табличной форме при использовании метода наименьших квадратов рекомендованы литературой [3–5], так как это позволяет значительно сократить время вычислений. В дальнейшем, по ним можно оценить энергетическую прочность испытанных серий лопаток турбин и сделать сопоставить их циклическую прочность с новыми (эталонными) лопатками гидроагрегата ТЭЦ.

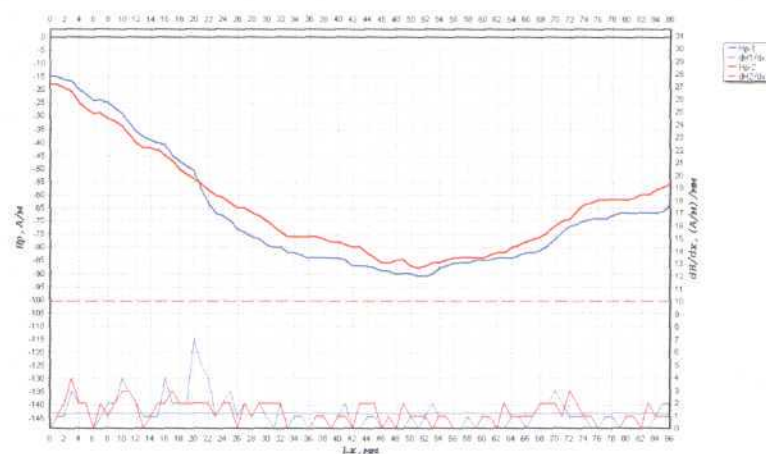


Рисунок 3 – График без критических зон концентрации напряжений в лопатке

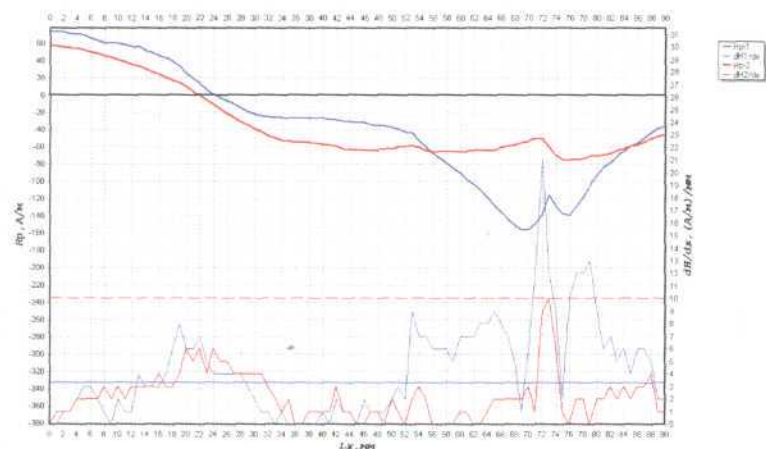


Рисунок 4 – График с превышающими значениями зон концентрации напряжений в лопатке

На рисунке 4 концентрацией напряжений была выявлена область повышенной концентрации напряжений. ЗКН (зона критической нагрузки) изогнутости обтекания в контрольной точке. Анализ показывает, что в этой точке наблюдается наивысшая концентрация напряжений.

Начальная скорость разрушения лопаток) была выявлена в 2014 г., в связи с чем уже имеющиеся данные. Анализируя энергетические данные структурных испытаний, в ходе процесса испытаний выявлены некоторые особенности.

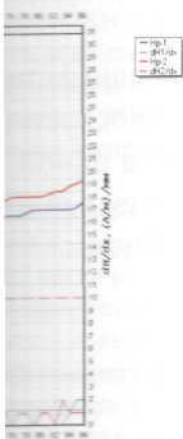
Первый тип деформации и развития потрескивания совпадает с плоскостью лопатки. Одновременно с концентрацией напряжений в точке оптимизации (КВН) в точке оптимизации наивысшем нагружении тах-КВН металла критическое напряжение изгиба, что ведет



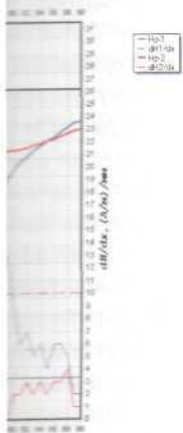
Рисунок 5 – Сечение лопатки

Измерение: практика, методика, теория

эзов ($\sigma = x: M_y$) и заносятся в таблицу в табличной форме. В дальнейшем метод наименьших квадратов рекомендован литературой, что позволяет значительно уменьшить время вычислений. В дальнейшем можно оценить энергетическую прочность испытанных серий и сделать сопоставить их с новыми (эталоны гидроагрегата ТЭЦ).



напряжений в лопатке



концентрации

На рисунке 4 представлена зона с концентрацией напряжений (ЗКН), которая была выявлена вблизи опасного сечения образца. ЗКН совмещается с сечением изогнутости образца на 70–82 мм по контрольной длине и на 7–9 мм от критической точки (рис. 4), изменение знака показывает на направление изогнутого образца.

Начальная серия (эталонные детали лопаток) была испытана ранее в 2013–2014 гг., в связи с этим были использованы уже имеющиеся данные исследований. Анализируя энергетические разрушения структурных составляющих лопаток в ходе процесса испытаний при определенных условиях нагружения, были отмечены некоторые типы дефектов.

Первый тип дефекта. Зона зарождения и развития потери поверхностного слоя совпадает с плоскостью расчетного сечения. Одновременно наблюдается рост концентраций внутренних напряжений (КВН) в точке опасного сечения. При дальнейшем нагружении лопатки, происходит *max*-КВН металла, которая превышает критическое напряжение при моменте изгиба, что ведет к изменению проектной

геометрии. Первый тип дефекта КВН при моменте изгиба фиксируется прибором ИКН-1М и представлен в виде графика (рис. 4). Второй тип дефекта – аналогичен первому виду изгиба и отличается от него лишь местом расположения. Если в опасном сечении при выбранной схеме заземления изгибающий момент M_y и действующие напряжения имеют максимальное значение, то при изгибе других типов эти параметры уменьшаются примерно на 23 %.

Образцы изгибались в критической точке при $L_i = \max$, при действующих напряжениях, меньше разрушающих. Из этого можно предположить, что сечение в средней части пера лопатки является опасным и определяющим местом концентрации внутренних напряжений. Действительно, рассмотрение и анализ изогнутых сечений образцов лопаток при эксплуатации подтверждает, что погнутость лопаток происходит ближе к верхней части входных кромок. Рассчитывая номинальные напряжения для образцов, за опасное сечение принималось поперечное сечение от центра тела лопатки до верхней части (рис. 5–7).

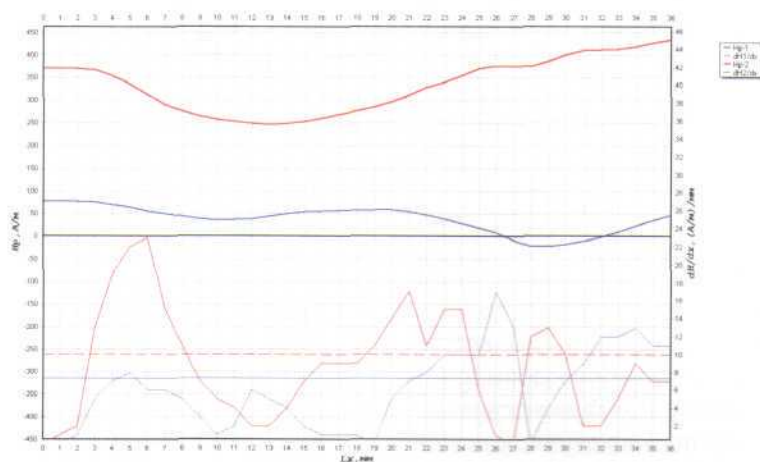


Рисунок 5 – Сечение № 1. Расстояние 20 мм от корневого сечения. Движение от выходной кромки к входной, К1 к корневому сечению

При анализе графика коэффициента интенсивности изменения поля остаточной намагниченности по сечению №3 (рис. 6) выявлены две зоны напряженно-деформированного состояния. В указанных зонах выполнена зачистка поверхностного

слоя металла с визуальным контролем, были выявлены глубокие микротрещины более 10%. Данная лопатка забракована из-за наличия внутреннего дефекта металла.

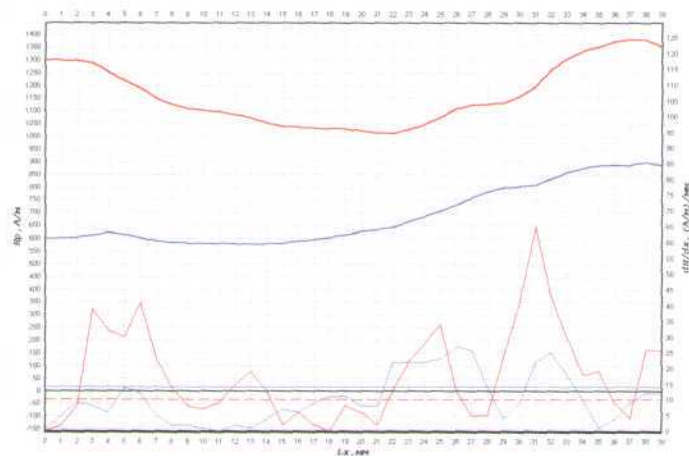


Рисунок 6 – Сечение №3. Расстояние 50 мм от сечения №2 (100 мм от корневого сечения). Движение от выходной кромки к входной, K1 к корневому сечению

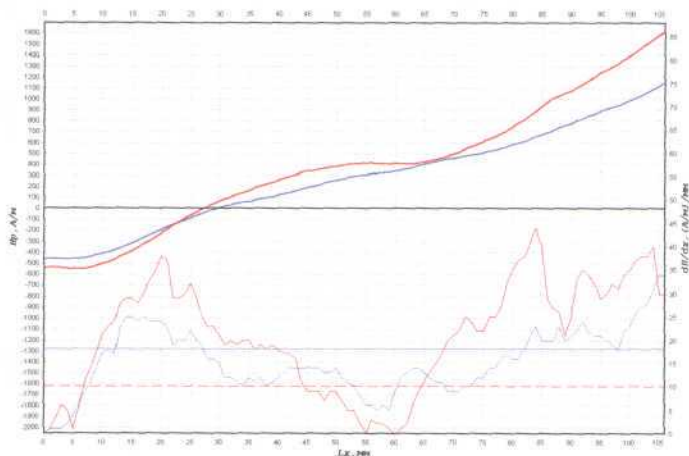


Рисунок 7 – Выходная кромка. Движение от корня к шипу. K2 по кромке

Сравнительный анализ энергетической прочности лопаток турбины ТЭЦ, восстановленных плазменным способом, с помощью величины предела выносливости показывает, что по отношению к новым, у них снижается прочность от 40% до 25,3%. В виде протокола исследований представлены результаты диагностики

лопаток в разных сечениях. Представленные данные об образцах, характеризуют энергетическую прочность. На рисунке 38 представлены кривые усталости испытанных серий лопаток.

Анализируя кривые повреждаемости можно сделать вывод о том, что лопатки, которые восстанавливаются с помощью стан-

дартных техноло
имеют склонност
энергетической п
бы подобрать ура
даемости, постро
ческих испытаний
был проведен ли
анализ полученны
каждой серии ис
помощью метода н
В работе была исп
рекомендации раб
уравнения линии р
турбины каждой се
– эталонная: $Y = 6$
– восстановленна
сбном, ГОСТ 21448-
– восстановленна
бок: $Y = 6,179 - 0,059$
Все реальные деф
серии, которые на
энергетических исп
логарифмических к
рутся вокруг этих л
наименьшими отклон



Рисунок 8 – Кривые лопаток турбины

та с визуальным контролем, ены глубокие микротрещины. Данная лопатка забракована из-за наличия внутреннего дефекта

Рисунок 6 – Сечение №3. Расстояние 50 мм от сечения №2 (100 мм от корневого сечения). Движение от выходной кромки к входной, К1 к корневому сечению

Рисунок 7 – Выходная кромка. Движение от корня к шипу. К2 по кромке

зных сечениях. Представленные образцы, характеризуют прочность. На рисунке 38 кривые усталости испытанных лопаток.

Кривые повреждаемости выводятся с помощью стан-

Измерение: практика, методика, теория

дартных технологий по ГОСТ 21448-75, имеют склонность к значительной потере энергетической прочности. Для того, чтобы подобрать уравнения кривых повреждаемости, построить график энергетических испытаний и оценить параметры, был проведен линейный регрессионный анализ полученных опытных данных для каждой серии испытанных образцов с помощью метода наименьших квадратов. В работе была использована методика и рекомендации работ [4, 5]. Эмпирические уравнения линии регрессии для лопаток турбины каждой серии имеют вид:

- эталонная: $Y = 6,058 - 0,0479x$
- восстановленная виброударным способом, ГОСТ 21448-75: $Y = 6,1089 - 0,0703x$
- восстановленная плазменным способом: $Y = 6,179 - 0,0596x$

Все реальные дефекты лопаток каждой серии, которые наносятся на графике энергетических испытаний (рис. 8) в полупологариформических координатах, группируются вокруг этих линий с возможными наименьшими отклонениями.

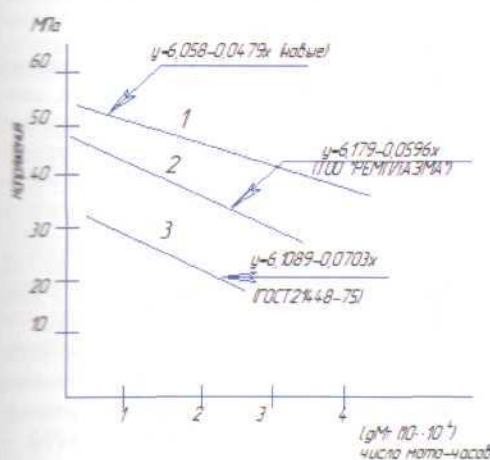


Рисунок 8 – Кривые повреждаемости лопаток турбины Т-100/120-130

Надо полагать, что в отличие от новых, все восстановленные лопатки изгибаются при меньших напряжениях. Так, для эталонной серии два образца выдержали, испытания в 10 тыс. мото-часов наработки или 10 млн. циклов. Можно ожидать предел выносливости для новых лопаток турбины в пределах 49,6–50,2 Н/мм². Для следующей серии лопаток, которые восстанавливались по технологии ГОСТ 21448-75, все образцы имели усталостные напряжения менее 30 Н/мм², в связи с этим их предел выносливости должен ожидаться ниже этого уровня. Для лопаток третьей серии, которые были восстановлены с помощью плазменного способа, ожидаемый предел усталости будет находиться в пределах 42,8 Н/мм², потому что число наработки, выдержанное образцами при этом равняется 5,4–7 тыс. мото-часов.

Представленные расчеты отражают то, что новые лопатки турбины ТЭЦ обладают расчетным значением предела выносливости в пределах 49,6–50,2 Н/мм². Сделаем оценку прочности испытанных лопаток при наработке в мото-часах с действующим напряжением в пределах 50,2 Н/мм². Выбранное значение рабочего напряжения основано на более высоком уровне нагружения в условиях работы и пределе выносливости новых лопаток турбины. Новые детали, при выбранном напряжении, позволяют выдерживать базу испытаний в 10⁷ циклов или 10⁴ мото-часов.

Лопатки, восстановленные по технологии ГОСТ 21448-75, имеют ресурс – 4000 мото-часов; по способу СКГУ им. М. Козыбаева – ТОО «РЕМПЛАЗМА» – 7000 мото-часов (рис. 8). Внутренние напряжения снижаются для технологии по ГОСТ 21448-75 на 40%, а с использованием технологии ТОО «РЕМПЛАЗМА» – СКГУ им. М. Козыбаева снижение достигает 25,3%. Сравнивая долговечность лопаток, восстановленных по тех-

нологии ТОО «РЕМПЛАЗМА» – СКГУ им. М. Козыбаева можно сделать вывод о том, что она выше на 28 % тех лопаток, которые были восстановлены по технологии ГОСТ 21448-75.

В качестве источника высоких действующих напряжений выбираются отклонения геометрических параметров лопаток от требований технических условий изготовителя ЗАО «УТЗ». Проводя оценку результатов энергетических испытаний лопаток исследованных серий можно сделать следующие выводы:

1. Данная методика позволяет своевременно определять лопатки, которые работают с зонами КН на стадии предразрушения.

2. Максимальные КН как и предполагалось, имеют расположение в критическом сечении лопатки, теоретические расчеты критического сечения лопатки совпадают с результатами, полученными в ходе экспериментов.

3. Из трех исследованных серий лопаток турбины эталонные детали обладают наибольшей долговечностью. Предел выносливости составляет 50,2 Н/м² для новых лопаток.

4. Полученные значения величины предела выносливости для лопаток, которые выпускает в настоящее время ЗАО «УТЗ», совпадают с результатами других исследований. По данным исследовательской лаборатории АО «ПЗТМ», у таких лопаток значение предела выносливости находится в границах 49,6-50,2 Н/м².

5. Предел выносливости лопаток, которые были восстановлены по технологии, предусмотренной ГОСТ 21448-75, составляет 29,94 Н/м², что в сравнении с прочностью новых лопаток составляет 60 %.

6. Усталостная долговечность лопаток, которые восстанавливаются с помощью плазменного способа СКГУ им. М. Козыбаева – ТОО «РЕМПЛАЗМА», составляет

42,8 Н/м², что в сравнении с прочностью новых лопаток составляет 86,3 %.

7. Методика испытаний на концентрацию внутренних напряжений, которая предлагается, отработана и усовершенствована. Модернизация обусловлена введением корреляционных коэффициентов учитывающих многие факторы, которые влияют на отклонение значений и разработанными уравнениями регрессии описывают закономерность изменения усталостных напряжений от циклового нагружения. Применение рекомендуемой методики оправдывается практикой испытаний. Предлагается рекомендовать ее в качестве типовой при проведении испытаний на усталость различных деталей, не снимая их с узла или агрегата. Кроме того, с помощью данной методики возможно прогнозирование наступления еще не случившегося дефекта, а также его участок на детали с зонами концентрации напряжений. ▀



Литература:

1. Томашец А.К., Савинкин В.В. Обоснование основных технологических параметров, влияющих на качество плазменного напыления: материалы 10-ой международной конференции «Физика твердого тела» // Вестник Карагандинского Государственного университета. – 2008. – №2(50). – Серия физика. – 31–38 с.
2. Данко П. Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Я. Высшая математика. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – Ч. II. – 365 с.
3. Лери Г., Гранжон Г. Исследование усталостной прочности деталей, восстановленных наплавкой // В кн. XII конгресс международного института сварки. – М.: Машгиз, 1962. – 146–165 с.
4. Степанов М.Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 456 с.
5. РТМ 44–62. Методика статистической обработки эмпирических данных. – М.: Стандартгиз, 1963. – 127 с.

УДК 90.21.07

ВНЕДРЕНИЕ СТАНДАРТА СТАНДАРТА ПРОИЗВОДСТВА СМЕСЕЙ

Александров В.В.,
Насыбулина А.И.,

«KazMetriy» РМК-ның
секторы негізінде сапа ме-
тер. Мақаласы ISO Guide,
андырушылардың сапа менет-
рий» РМК Қарағанды ф-
листері қарастырылады

Внедрение системы ме-
Карагандинского филиала
дисциплины основные па-
ны образцов в соответствии
внедрения данной систем
РПТ «KazMetriy».

The introduction of sector
branch of RSE «KazMetriy»
and requirements for a qual-
ity of international standard IS
calibration gas mixtures set

Стандартные образ-
веществ и материалы
лее – СО) находят
при градуировке,
средств измерений,
точности методик вы-
во всех областях
спублики Казахстан,
спечению прослежи-
единиц величин.

В мировом сообще-
ственного стандарт
чивается за счет кон-
изготовителей СО к
достигается за счет
мальных требований
описанных в между-
ISO Guide 34:2009.



создание высокопроиз-
водительных конкурентоспособных

ной встречи, представи-
тельства и подведомствен-
ного Комитета технического
метрологии были раз-
работаны законодательства РК,
обеспечения
рекомендации по ка-
честву, по процедурам
соответствия продукции,
специалистов. Особое вни-
мание уделено вопросу аккредита-
ции лабораторий.

ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «МЕТРОЛОГИЯ»

Рукопись статьи объемом от 5 до 10 страниц (включая иллюстрации и список литературы) представляется в бумажном и электронном видах на государственном, русском или английском языках, в редакторе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта 14, одинарный интервал; для статей на государственном языке: шрифт KZTimes New Roman. Рукопись должна быть подписана всеми авторами.

1. К статье прилагаются следующие документы:

- разрешение на публикацию учреждения, где выполнена данная работа;
- рецензии ведущих специалистов в области освещаемой работы;
- акт экспертизы (выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати);
- аннотация на казахском, русском и английском языках с указанием индекса УДК;
- на отдельном листе указываются сведения об авторе: фамилия, имя, отчество, должность, звание, ученая степень, полное название учреждения, в котором выполнена работа, адрес, телефон.

2. При написании статей в соответствии с требованиями ГОСТ 7.5 - 98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов» необходимо придерживаться следующих требований:

- фамилия, имя, отчество авторов, с указанием полного официального названия учреждения места работы и его подразделения, должности, ученых званий и степени (если есть);
- название статьи прописными буквами;
- индекс УДК отдельной строкой слева;
- резюме на других языках отличающихся от языка текста публикуемого материала. В конце резюме необходимо указать не более пяти ключевых слов. Желательно использовать общепринятые термины ключевых слов;
- ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных скобках ([1], [12-13]) по мере упоминания. Список цитируемой литературы оформляется на отдельной странице с указанием фамилии и инициалов автора (ов), полного названия книги (статьи), места издания, названия журнала (год, том, номер страницы). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Иностранные фамилии и термины в тексте приводятся на языке статьи, в списке литературы – на языке оригинала;
- не допускается сокращение слов, кроме обозначений единиц величин, а также общепринятых сокращений;
- в названии статей аббревиатура не допускается;
- таблицы числовых данных должны иметь порядковый номер, обозначенный арабскими цифрами, и заголовок, поясняющий ее содержание. В верхней части граф обязательно указываются названия величин и их размерность. Не допускается изложение одних и тех же данных в таблице и на рисунке;
- математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation. Химические формулы и символы должны быть набраны при помощи инструментов Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован.

Рукописи, не удовлетворяющие настоящим требованиям, возвращаются авторам для исправлений. Датой поступления рукописи считается день ее получения в исправленном виде. Корректуре автору для просмотра не высылается. В случае отклонения статьи редакция оставляет за собой право вернуть ее автору.

Адрес РПТ «КазИнМетр»:

010000, г. Астана, пр. Мангілік ел, 11, Эталонный центр

Тел.: (7172) 75-07-99 (приемная), 75-07-30

E-mail: ops52@list.ru

www.kazimetr.kz