



АСУ установкой для исследования влияния малоцикловой усталости металлов на параметры электромагнитно-акустического сигнала

М.Г. Баширов, И.Г. Юсупова, Э.М. Баширова, Е.Ю. Мавлекаев, А.В. Станков
(ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»)

Разработана автоматизированная система управления испытательными машинами, позволяющими проводить исследования влияния малоцикловой усталости металлов на параметры электромагнитно-акустического сигнала. Представлена аппаратная и программная часть системы. Предложенная АСУ обеспечивает повышение комфорта и уменьшение затрат времени при проведении эксперимента.

Ключевые слова: автоматизация, испытательные машины, микроконтроллер, электромагнитно-акустический преобразователь, напряженно-деформированное состояние, электрооборудование.

Введение

Развитие энергетических систем тесно связано с вопросами обеспечения надежности энергетических агрегатов. В процессе эксплуатации энергетическое оборудование подвергается механическим, температурным нагрузкам, нагрузкам от внутреннего давления, а также воздействию иных факторов. Все это приводит к накоплению усталостных и других повреждений, что создает предпосылки для возникновения аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным экономическим и экологическим ущербом. Нарушение устойчивости и бесперебойности электроснабжения потребителей приводит к огромному материальному ущербу, в ряде случаев имеющему масштабы национального бедствия. В практике эксплуатации электростанций известны серьезные аварии в результате повреждения турбогенераторов. Длительная эксплуатация в напряженных условиях воздействия циклических нагрузок приводит к повреждениям из-за усталости металла. Турбогенератор имеет совершенную систему защиты по электрическим параметрам. Вместе с тем характер повреждений основных систем генератора (обмотки статора, ротора, активной стали, бандажных колец, отклонения в работе систем охлаждения и щеточного аппарата) обусловлен тепломеханическими процессами [1, 2].

Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) металла является неотъемлемым и основным этапом оценки технического состояния и ресурса энергетического оборудования. Практика показывает, что на стадии эксплуатации при определении НДС недостаточно использование только расчетных методов, обязательно необходимо использование физических методов и средств, позволяющих контролировать напряженно-деформированное состояние. Одним из перспективных направлений

в этой области является использование электромагнитно-акустического (ЭМА) эффекта [1, 2].

Процесс изменения НДС, накопления повреждений и разрушения металла энергетического оборудования сопровождается комплексом взаимосвязанных физических эффектов — механических, тепловых, акустических, магнитных, электрических, и все они участвуют в формировании информативных ЭМА параметров при взаимодействии преобразователя с объектом контроля. При одновременном использовании нескольких информативных ЭМА параметров, отображающих перечисленные эффекты, становится возможным объективно оценивать НДС, выявлять поврежденность металла на ранних стадиях [3].

Для выполнения экспериментальных исследований изменения механических, электрических, магнитных и акустических свойств металлов в процессе накопления повреждений в структуре и изменения НДС и их взаимосвязи с информационными параметрами ЭМА эффекта необходимо создание установок с применением испытательных машин [3].

В настоящее время существует множество вариантов исполнения машин, которые различаются:

- по типу привода: механический привод (сервопривод через шариковинтовую передачу) или гидравлический;
- по возможности автоматизации исследования: управление с помощью компьютера и специализированного программного обеспечения или с ручным управлением хода исследования и обработкой результатов;
- по рабочему усилию: от единиц до сотен килоньютон;
- по типу исследуемого материала: металлы, пластмассы, дерево и др.;
- по возможности проведения исследований в условиях, отличных от нормальных: наличие нагрева-

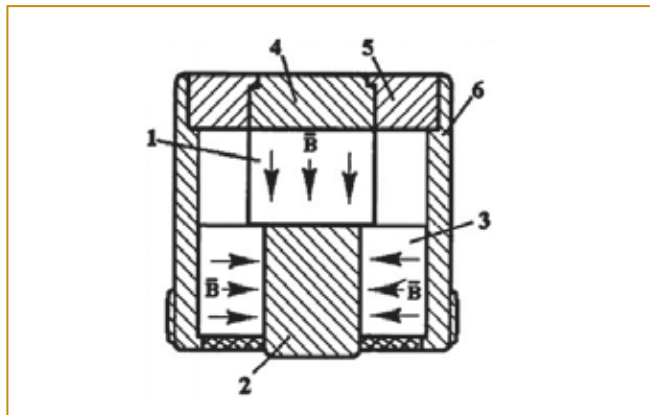


Рис. 1. Общий вид магнитной системы ЭМАП для возбуждения сдвиговых (поперечных) и продольных ультразвуковых объемных волн, где 1 – постоянный магнит, 2 – концентратор, 3 – дополнительный магнит, 4 – полюсный наконечник, 5 – вставка из немагнитного металла, 6 – магнитопровод.

тельной или криогенной камеры, в которую помещается исследуемый образец.

Основным требованием, предъявляемым к автоматизированным машинам, является возможность точно контролировать рабочее усилие, прилагаемое к испытываемому образцу, что напрямую влияет на точность самого исследования. Это требование отличает разрывную машину от прессов общего назначения, которые также могут выполнять функции разрывной машины, но с очень большой погрешностью, что означает полную недостоверность результатов исследования. Так как разрывные машины относятся к измерительным приборам, причем высокой точности, они должны проходить метрологический контроль (поверку) не реже одного раза в год (metallicheskiy-portal.ru).

Существуют машины, работающие в автоматизированном режиме. Такие машины способны воспроизводить циклические нагрузки на образец, а также собирать и систематизировать результаты испытания. Оператору следует лишь загрузить образец в установку и задать программу испытания, все остальное машина сделает сама.

Для проведения испытаний материалов, частей оборудования и конечной продукции, большинство компаний переходит на автоматические испытательные системы. При таком подходе образцы, измеренные и маркированные, подвергаются различным нагрузкам на разных участках испытательной системы.

Производители поставляют испытательные машины одноколонного (диапазон нагрузок 0,008...5 кН) и двухколонного исполнения (диапазон нагрузок 0,4...600 кН). Для каждого типа конструкции имеется возможность проведения испытаний образцов в режимах растяжения, сжатия и изгиба. Для специальных режимов таких, как прокол, сдвиг

и загиб, используют дополнительные насадки и детали (<http://eav.su/>).

В автоматизированных испытательных машинах имеются современные периферийные устройства, облегчающие проведение испытаний. Пульт оператора, оснащенный ЖК-дисплеем и кнопочным пультом управления, позволяет считывать результаты и передавать на принтер. Персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением управляет процессом испытаний и обработкой данных.

Рассмотрим способ получения информации о напряженных состояниях материала при его деформации на автоматизированной установке с помощью электромагнитно-акустического преобразователя.

АСУ исследованиями образцов с применением ЭМАП

Автоматизация существующей машины для испытаний позволит ускорить процесс деформации образцов. Модель установки состоит из трех частей: персональный компьютер, с которого происходит управление и на нем можно наблюдать график и циклы испытаний. Вторая часть – это модули обработки сигналов и модули измерений. С них сигналы с персонального компьютера отправляются на третью часть модели – машину для испытаний натуральных образцов при циклическом изгибе.

Ультразвуковой (УЗ) неразрушающий контроль широко применяется в современной промышленности, что является следствием усложнения конструкций деталей.

В последние годы наблюдается интенсивное развитие методов диагностики оборудования с выраженной тенденцией выбора эффективных способов оценки их технического состояния. Один из таких методов основан на применении электромагнитного акустического преобразователя (ЭМАП). На рис. 1 представлен общий вид магнитной системы ЭМАП для возбуждения сдвиговых (поперечных) и продольных ультразвуковых объемных волн.

Конструкция данного прибора включает магнитомягкий материал, который окружен постоянными магнитами с разными направлениями оси намагничивания. Данный материал представляет из себя концентратор. На торцевой части прибора расположен полюсный наконечник. Магнитопровод располагается между дополнительным магнитом и вставкой как показано на рис. 1¹.

ЭМАП с предложенной системой постоянных магнитов для наведения УЗ колебаний располагают над поверхностью испытываемого образца или части конструкции. На индуктор ЭМА преобразователя поступают импульсы высокочастотных колебаний, которые наводят в поверхностном слое конструкции или образца металла вихревые токи. Под действием сил Лоренца в поверхностном слое объекта контроля возникает сдвиговая объемная волна, распространяющаяся

¹ Патент №2350943 - Магнитная система электромагнитноакустического преобразователя.

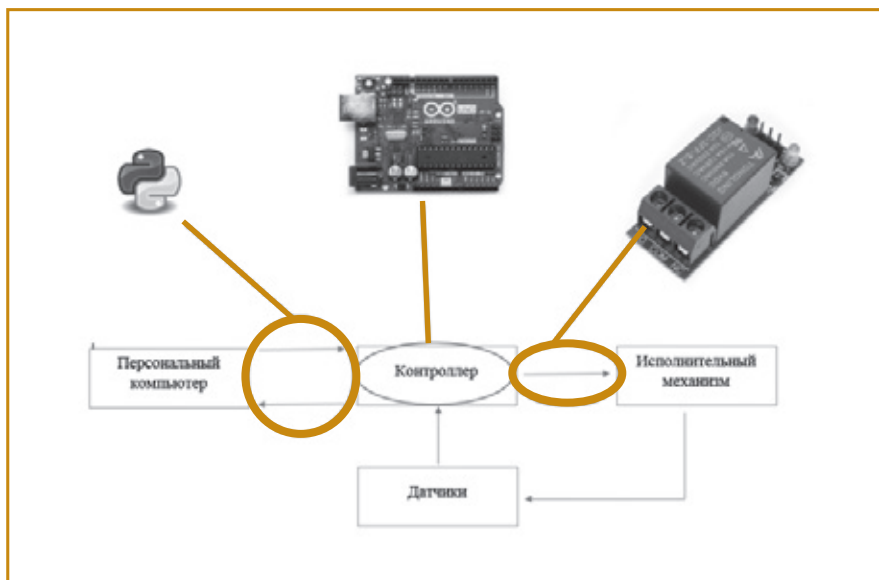


Рис. 2. Модель испытательной установки

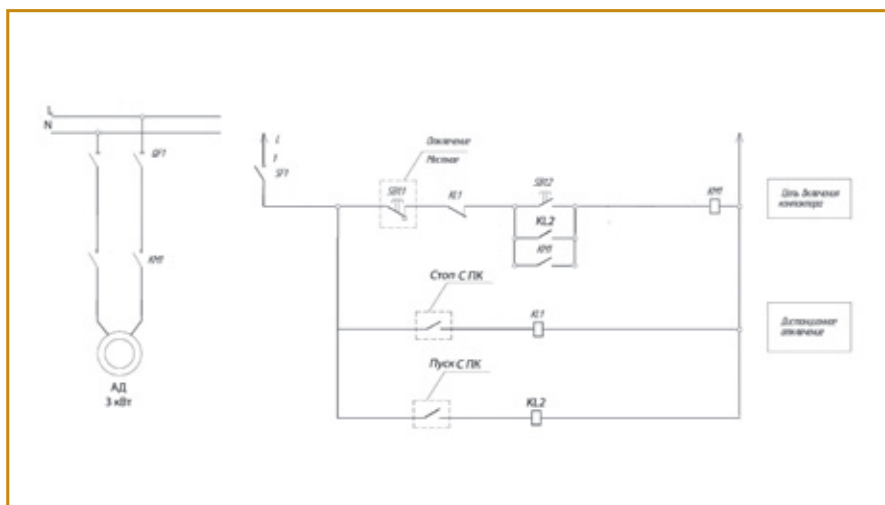


Рис. 3. Принципиальная схема управления двигателем испытательной установки

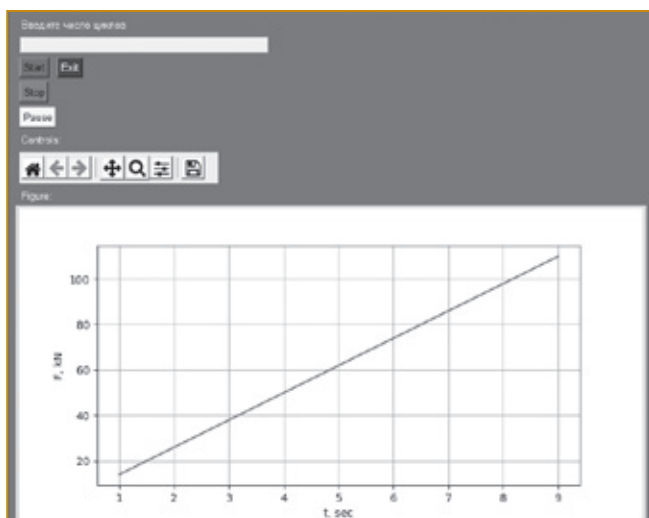


Рис. 4. Интерфейс программы

вглубь металла в направлении, соответствующем нормали к поверхности изделия. Функциональность ЭМАП позволяет принимать импульсы ультразвуковых колебаний с последующим преобразованием в электрические сигналы.

Контролируемые образцы испытывают под действием искусственно воспроизведенной механической нагрузки. Таким образом выявляют предельные и номинальные значения для работы образца [4].

Цель данной работы заключается в разработке автоматизированной системы управления исследованиями образцов с применением ЭМАП.

Для определения механических свойств материалов путем их разрушения на циклической машине используется тензодатчик. Тензодатчик состоит из датчика силы растяжения/сжатия. Он обеспечивает измерение прилагаемой к образцу силы.

Предлагаемая модель испытательной системы с применением ЭМАП приведена на рис. 2. Она состоит из двух частей:

- физическая, включающая плату микроконтроллера, датчики и саму установку с приводом;
- программная, благодаря которой происходит визуализация данных о повреждении образца.

Данная сборка позволит получать информацию о процессах,

происходящих в испытуемом материале с помощью ЭМАП при испытании на изгиб, и позволит перейти на современные методы проведения эксперимента и обработки данных в программное обеспечение установки.

Класс точности данной экспериментальной установки зависит от множества факторов. К этим факторам относятся жесткость и точность (прецизионность) сборки машины. Точность показаний при обработке данных с датчиков зависит от применяемой электроники.

Результаты разработки

На рис. 3 приведена принципиальная схема управления двигателем испытательной установки. Взаимодействие программного обеспечения с платой Arduino осуществляется путем эмуляции последовательного СОМ порта. Запуск двигателя

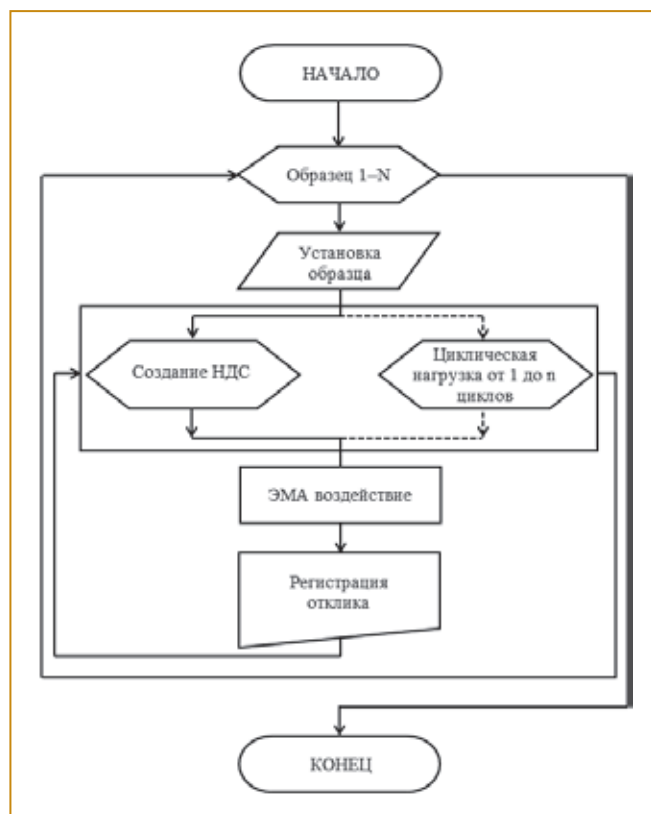


Рис. 5. Алгоритм экспериментального исследования

осуществляется передачей значения «1» на COM порт, для отключения — «0». При нажатии кнопки старт в программном обеспечении на микроконтроллер поступает сигнал, который подает высокое напряжение на входы твердотельных реле (KL1 и KL2). Реле замыкается, и двигатель начинает вращаться. При достижении необходимого числа циклов двигателя микроконтроллер подает низкое значение напряжения, реле замыкается.

На рис. 4 представлен интерфейс программы, иллюстрирующий контроль напряженного состояния в испытуемом образце. Для создания интерфейса использовалась библиотека PySimpleGUI. График строится на основе данных, поступающих от датчика.

При проведении испытания с датчиков снимается аналоговый сигнал, который обрабатывается на плате Arduino Uno. Затем массив цифровых данных передается на компьютер, сохраняется в формате .txt и последовательно обрабатывается программой в режиме on-line. Осуществляется визуализация информации в графическом виде, что позволяет отслеживать реальную картину повреждений образца, а также спрогнозировать развитие дефектов. Таким образом

реализован непрерывный мониторинг за показаниями датчика и наблюдение за состоянием испытуемого образца металла.

Анализ эксплуатационных свойств образцов сталей марок СтЗсп, 09Г2С, 12Х18Н10Т энергетического оборудования при циклическом нагружении проводились по алгоритму, представленному на рис. 5.

Заключение

Полученные результаты являются основой для создания АСУ установкой, предназначенной для испытания образцов металлических конструкций на циклическую усталость и для исследования влияния механических нагрузок на электрические и магнитные свойства металлов.

Разработана автоматизированная установка для исследования изгиба экспериментальных образцов стали. Благодаря данной установке подготавливаются образцы металлов для последующего проведения эксперимента, например, с применением ЭМАП. Предложенные решения позволяют перейти на современные методы проведения эксперимента, следствием которых является повышение комфорта и уменьшение затрат времени при проведении эксперимента. Возможность задания длительности сигналов позволяет создать эффект длительной или кратковременной нагрузки на образец.

Список литературы

1. Хуснутдинова И.Г., Баширов М.Г., Бакиров И.К. Анализ аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли при возникновении дефектов в металлических элементах оболочковых конструкций // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 2 (108). С. 155-164.
2. Хуснутдинова И.Г., Баширов М.Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Механика предельного состояния и смежные вопросы. Тр. всероссийской научной школы-конференции, посвященной 85-летию проф. Д.Д. Ивлева. 2015. С. 202-207.
3. Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г., Хафизов А.М. Метод оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Федоровские чтения. Тр. XLIV международной научно-практической конференции. 2014. С. 113-115.
4. Мавлекаев Е.Ю., Хуснутдинова И.Г., Баширова Э.М. Автоматизация экспериментальной установки // Тр. международной научно-методической конференции, посвященная 75-летию победы в Великой Отечественной войне. 2020. С. 340-343.

Баширов Мусса Гумерович — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой, **Юсупова Ильвина Гамировна** — канд. техн. наук, доцент, **Баширова Эльмира Муссаевна** — канд. техн. наук, доцент, **Мавлекаев Евгений Юрьевич** — магистрант, **Станков Артем Витальевич** — магистрант кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате. E-mail: giltanasheal@mail.ru