

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ МЕТАЛЛОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Орехова Е.Е., Абрамов А.А., Андреев В.В.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия (603600, г. Н. Новгород, ул. Минина д. 24), e-mail: katrin_orehova@rambler.ru

С середины XIX в. было установлено, что прочность металлов существенно снижается в результате воздействия циклических нагрузок. До сих пор закономерности этого явления до конца не раскрыты. Существующие теории не позволяют с гарантированной точностью предсказывать характеристики сопротивления усталости материалов в реальных конструкциях. Относительно недавно появилась обобщенная зависимость предела выносливости металлов, позволяющая с наименьшими трудозатратами и без проведения экспериментов определить значения интересующих параметры, но этот метод определения предела выносливости не учитывает воздействие конкретных факторов. Данная работа посвящена разработке методики определения предела выносливости металлов с учетом влияния конкретных факторов (испытательная среда, материал, форма и т.д.). Для учета влияния конкретного фактора предполагается использовать искусственные нейронные сети (ИНС).

Ключевые слова: сопротивление усталости, многоцикловая усталость, предел выносливости металлов, обобщенная зависимость

THE METHODOLOGY DEVELOPMENT FOR DETERMINING THE METAL LIMIT OF DURABILITY BASED ON INFLUENCING FACTORS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Orekhova E.E., Abramov A.A., Andreev V.V.

Nizhny Novgorod State University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, (Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: katrin_orehova@rambler.ru

Since the mid-19th century it was determined that the strength of metals significantly decreases in the result of the impact of cyclic loads. Still the patterns of this phenomenon up to the end is not disclosed. Existing theories do not allow with guaranteed accuracy to predict the characteristics of fatigue resistance of materials in actual structures. Recently appeared a generalized dependence of durability of metal, that allows with the lowest labor costs and without conducting experiments to determine the values of interesting options, but this method of determining the limit of endurance does not take into account the impact of specific factors. This work is devoted to the technique of definition of durability of metal with the influence of specific factors (environment, material, shape, etc.). To account for the influence of specific factors want to use artificial neural network.

Ключевые слова: fatigue resistance, high cycle fatigue, fatigue limit of metals, generalized dependence

С середины XIX века было установлено, что прочность деталей существенно снижается в результате периодического (циклического) изменения нагрузки. Если на металл действуют знакопеременные нагрузки, то он ведет себя по-иному, чем при действии только растягивающих или только сжимающих сил. Особенности и закономерности этого явления до конца еще не раскрыты. Существующие теории не позволяют с гарантированной точностью предсказывать характеристики сопротивления усталости материалов в реальных конструкциях [1].

Методы определения предела выносливости предусматривают проведение длительных испытаний. При испытании с частотой нагружения несколько тысяч циклов в минуту время построения одной кривой усталости измеряется неделями. Поэтому понятно

стремление к разработке экспериментально-аналитических методов для ускоренного нахождения пределов выносливости. Основное преимущество методов ускоренного построения заключается в их оперативности и резком уменьшении количества необходимых для испытания образцов.

Относительно недавно появился метод определения пределов усталости металлов с использованием обобщенной зависимости [1], [2]. Для применения этого метода прогноза положения кривой усталости в многоциклового области, необходимо знать значение трех параметров: σ_R – предел выносливости; N_G – число циклов нагружения; $\text{tg}\alpha_w$ – тангенс угла наклона левой ветви кривой усталости к оси числа циклов нагружения. (рисунок 1)

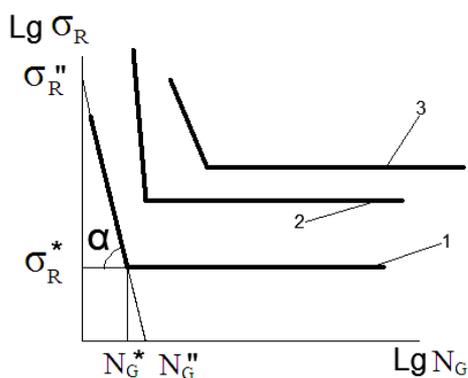


Рис. 1. Характеристики кривой усталости, необходимые для получения приведенных параметров сопротивления усталости.

1,2,3 – многоциклового области кривых усталости для различных металлов или различных условий проведения эксперимента, спрямленные в логарифмической системе координат

Но не для всех сочетаний факторов имеются экспериментальные данные и, следовательно, данные для применения вышеуказанного метода оценки.

Цель работы

Цель данной работы - разработка метода приблизительной оценки показателей сопротивления усталости металлов с использованием обученных искусственных нейронных сетей (ИНС), а исходными данными при использовании разработанного метода прогнозирования будет совокупность известных данных об условиях проведения испытаний на усталость, например, материал, форма, условия нагрузки и т.д.

Разработка метода выполняется в два этапа. На первом этапе идет определение значений двух приведенных параметров из тройки чисел, соответствующих некоторой кривой усталости - $\sigma_{\text{прив}}$, $N_{\text{прив}}$, $\text{tg}\alpha_{\text{wприв}}$. При этом один параметр меняется в некотором интервале это $\text{tg}\alpha_{\text{wприв}}$, второй параметр – в зависимости от задачи $\sigma_{\text{прив}}$ или $N_{\text{прив}}$, определяется на основе корреляционных зависимостей, представленных в [1].

Второй этап необходим для уточнения положения обобщенной зависимости при уточнении (добавлении) информации о действующих факторах. Получающаяся обобщенная зависимость (рисунок 2) не содержит в себе в явном виде информацию о влияющих факторах, но положение каждой точки в трехмерном пространстве приведенных параметров сопротивления усталости (а это, фактически, представление в приведенном пространстве одной из кривых усталости совместно рассматриваемых для получения обобщенной зависимости), определяется совокупностью действующих факторов, под действием которых кривая усталости в приведенном пространстве перемещается, занимая определенное положение [1], [2].

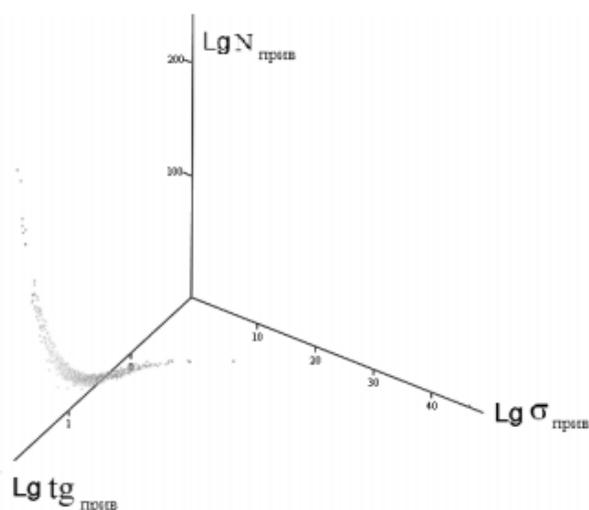


Рис. 2. Обобщенная зависимость приведенных показателей сопротивления усталости металлов.

Каждая точка этой зависимости представляет собой кривую усталости, характерные точки которой в многоцикловой области были преобразованы для представления в пространстве приведенных показателей сопротивления усталости

При уточнении каких – либо внешних факторов положение кривой в пространстве изменяется. На рисунке 3 представлен характер изменения положения кривой обобщенной зависимости при уточнении какого – либо фактора.

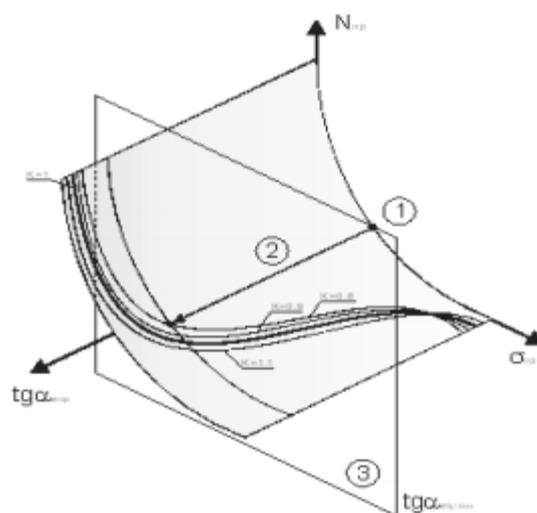


Рис. 3. Изменение положения обобщенной зависимости приведенных параметров сопротивления усталости при уточнении информации о действии какого – либо фактора

Именно положение кривой в приведенном пространстве и определяется в ходе выполнения прогнозирования [3,4,5]. В результате анализа имеющихся экспериментальных данных было замечено, что проекции кривых обобщенной зависимости на координатные плоскости, образованные координатными осями приведенных параметров сопротивления усталости при переходе от одной к другой совокупности действующих факторов не меняют своего характера, смещаясь в соответствие с изменением некоторых коэффициентов, связанных с действием конкретного фактора. Но проекция зависимости на координатную плоскость представляет собой зависимость одного приведенного показателя сопротивления усталости от другого. Таким образом, было установлено, что зависимость $tg\alpha_{w_прив}$ от $N_{прив}$ имеет логарифмическую форму, $\sigma_{прив}$ от $N_{прив}$ степенную форму и $\sigma_{прив}$ от $tg\alpha_{w_прив}$ имеет экспоненциальную форму. На рисунке 4 представлено смещение проекции кривой обобщенной зависимости при уточнении информации об исследуемом материале (в данном случае – марки стали).

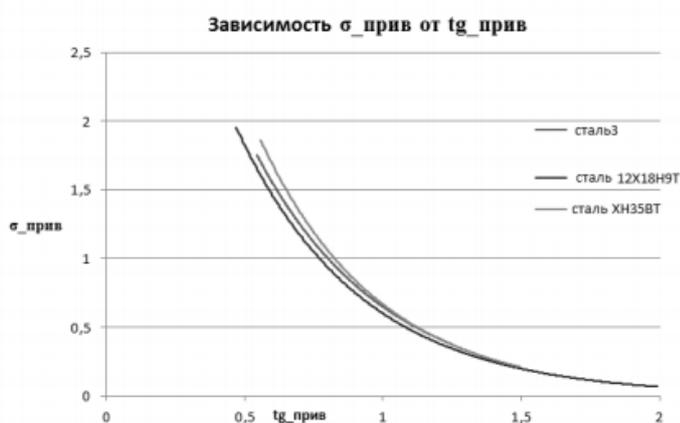


Рис. 4. Визуализация изменения зависимости $\sigma_{прив}$ от $tg\alpha_{w_прив}$ при уточнении материала (марки стали)

При смещении проекции кривой в приведенном пространстве изменяются только коэффициенты функций, но не характер самих зависимостей.

Положение кривой в пространстве и две известные координаты однозначно определяют точку на уточненной кривой обобщенной зависимости.

Помимо этого, второй этап может отдельно применяться при исследовательских работах, когда необходимо изучить поведение материалов в различных условиях и подобрать оптимальное сочетание факторов [6]. Если рассматривать конкретный параметр или их совокупность (материал, форму и т.д.), положение кривой в пространстве изменится. Исследуя семейство представляющих интерес кривых, можно подобрать оптимальное сочетание факторов для исследуемой задачи.

В настоящее время созданы ИНС для определения всех трех приведенных показателей сопротивления усталости. В качестве входных параметров в данном случае брались марка стали, схема нагружения и нагрузка (МПа). В дальнейшем планируется ввести учет других влияющих факторов (температура, обработка, среда и т.д.).

Так же в настоящее время построена ИНС, определяющая коэффициенты уравнений кривых – проекций на координатные плоскости, позволяющие воссоздать положение обобщенной кривой в пространстве приведенных показателей сопротивления усталости. В качестве входных параметров при создании данной ИНС была взята марка материала. Выходные параметры – коэффициенты кривых. С помощью полученной ИНС можно воссоздать только усредненную для данной марки стали или сплава кривую обобщенной зависимости приведенных показателей сопротивления усталости, зная которую и угол наклона левой ветви кривой усталости в логарифмической системе координат (он определяется по экспериментальным результатам при испытании на усталость нескольких образцов, можно спрогнозировать положение кривой усталости металла, в том числе и положение точки перелома спрямленной в логарифмической системе координат кривой усталости в многоцикловой области). В дальнейшем предполагается создать ИНС, учитывающие другие факторы, кроме материала.

Были созданы обучающие выборки. Для ИНС, определяющей значения приведенных параметров, обучающая выборка представляет собой совокупность значений марок сталей, соответствующих схем нагружения и нагрузок. Всего 1179 сочетаний действующих факторов (условий испытаний на усталость) и соответствующих им значений координат точки перелома кривой усталости спрямленной в логарифмической системе координат. Для ИНС, определяющей коэффициенты кривых – проекций обучающая выборка представляла собой совокупность данных о марках сталей или сплавов и искомым коэффициентам –

параметров уравнений кривых-проекций обобщенной зависимости приведенных показателей сопротивления усталости на координатные плоскости.

Для решения поставленных задач были рассмотрены сети типа многослойный персептрон (МСП), т.к. эти сети лучше других типов сетей прогнозируют значения в области, в которой не проходило обучение, что немаловажно при получении результатов в неисследованной ранее области, при прогнозировании. При исследовании конфигурации ИНС было рассмотрено несколько различных функций активации: тангенциальная, экспоненциальная. Так же варьировалось количество нейронов в промежуточном слое.

В результате были смоделированы ИНС, определяющие значения интересующих величин с погрешностью, не превышающей 15%.

Список литературы

1. Предел выносливости металлов на обобщенной зависимости приведенных параметров сопротивления усталости: Монография / В.В. Андреев; Нижегород. гос. техн. ун-т. Н.Новгород, 2003. 304 с.
2. Гухман А.А., Зайцев А.А. Обобщенный анализ. М.: Факториал, 1998г., 304с.
3. Андреев В.В., Кравченко В.Н., Самарин С.Г. Количественная оценка связи параметров сопротивления многоциклового усталости металлов. Известия ВУЗов. Черная металлургия, Москва, 2004, № 4. С.67-68.
4. Андреев В.В. Использование системного анализа для построения информационной системы прогнозирования поведения металлов при циклическом нагружении. Научно-техническая информация. Сер.1. Организация и методика информационной работы. 2005г. №3. С.32-35.
5. Андреев В.В. Способ оценивания показателей сопротивления усталости металлов на основе процедуры приведения. Известия ВУЗов. Черная металлургия, Москва, 2005, №9. С.68.
6. Андреев В.В. Диагностика изменений в структуре материала с использованием обобщенных критериев сопротивления усталости. Контроль. Диагностика. М., "Машиностроение", 2005г. №6. С.61-64.

Рецензенты:

Радионов А.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Кафедра общей и ядерной физики»

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород.

Соколова Э.С., д.т.н., профессор зав. кафедрой «Информатика и системы управления»

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е. Алексеева», г. Н. Новгород.