

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

### Рецензия

на монографию Дубровина В. И., Субботина С. А., Богуслаева А. В., Яценко В. К. «Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей». – Запорожье: Издательский комплекс ОАО «Мотор Сич», 2003. – 279 с.

Оценка надежности и безопасного ресурса авиационных двигателей – одна из важных проблем современного машиностроения. Причиной разрушения двигателя являются многочисленные технологические и эксплуатационные факторы: экстремальность и различные условия нагружения, большое количество разнофункциональных деталей, узлов и агрегатов, многообразие применяемых материалов и технологий, пространственная и временная неоднородность параметров физического состояния материала, наличие дефектов разной формы, размеров и ориентаций, что во многом усложняет ее решение. Кроме того, заключение о функциональных возможностях конструкции и ее несущей способности зачастую приходится делать на основании не только первичной информации, но и результатов дальнейшей обработки последней с учетом величин второго и третьего порядков малости. Критические размеры дефектов и допускаемые отклонения размеров детали на несколько порядков меньше размеров самой детали.

Многочисленные результаты теоретических и прикладных исследований по надежности и долговечности конструкций ежегодно публикуются в различных литературных источниках. Большой интерес представляют результаты, приведенные в рецензируемой монографии. Особенность и принципиальное их отличие от известных состоит в том, что авторы одними из первых активно и успешно используют методы диагностики и прогнозирования, содержащие элементы искусственного интеллекта, в частности решения на основе нейронных сетей. Это обосновано и продиктовано достижениями в кибернетике за последнее время. Как отмечает Р. Каллан, использование нейронных сетей для решения актуальных технических задач имеет огромное значение. Это – регистрация и контроль различных параметров, определяющих работоспособность и целостность машин и механизмов, их диагностика, автоматическое управление качеством изготавливаемых изделий, принятие решений при возникновении аварийных ситуаций (посадка поврежденного летательного аппарата, разрыв трубопроводов и резервуаров, поломка элементов технологического оборудования) и т.д.

В монографии приведены современные экспериментально-статистические методы и методика программного обеспечения исследования поврежденности материалов и исчерпания несущей способности лопаток газовых турбин.

В первой и второй главах четко и лаконично определены основные составляющие интеллектуальной диагностики. В частности, рассмотрены теории распознавания образов, принятия решений, прогнозирования технического (физического) состояния, контролеспособности, этапы разработки концептуальной модели обратимых и необратимых состояний изучаемого объекта, методы обработки результатов экспериментов. Эти сведения очень информативны, полезны и во многом упрощают понимание последующих результатов исследований.

Третья глава посвящена описанию методов анализа диагностической информации: эвристических, информационных, статистических, вероятностных и нейросетевых. Акцентируется внимание на разработанных алгоритмах когнитивной компьютерной графики, оценке признаков информативности экспериментальных данных, процедурах их выбора и представления, дифференциации исходной информации на контрольную (тестовую) и обучающую. Предложенные алгоритмы обработки большого потока регистрируемых данных позволили упростить модели долговечности и надежности, снизить их мерность.

В четвертой главе предложена методика построения моделей диагностики конструктивных элементов. Применительно к задачам оценки текущего и предельного технического состояния детали двигателя приведены классификация систем распознавания дефектов (простые и сложные, одно- и многоуровневые, с обучением и без обучения), признаки объективного прогнозирования, условие оптимального риска прогнозирования, основные концепции нейросетевого представления интуитивных, т.е. эвристических алгоритмов распознавания дефектов. Это дало возможность получить перспективные нейросетевые модели изучаемых процессов на основании ограниченной совокупности исходных данных.

В пятой главе подробно описаны нейросетевые методы распознавания и классификации дефектов. Одним из основных свойств нейронных сетей является способность их к самоорганизации и самоадаптации за счет обучения. Это имеет принципиальное значение при разработке моделей сложных физико-механических процессов, происходящих в материале элементов двигателя, в случае, когда кинетики многих макро- и микропараметров не определены и зачастую условия эксплуатации двигателя не известны. При этом, как показала практика, даже относительно простые нейросетевые модели эффективны при решении прикладных задач диагностики и долговечности.

В шестой главе приведены разработанные авторами программные средства диагностики технического состояния элементов двигателя. Система «Диагностика» представляет собой комплекс программ для обработки исходной информации и принятия решения о состоянии детали. Она включает подсистемы предобработки и визуализации данных, сокращения их размерности, топологической и нейросетевой диагностики, обучения теории диагностики. Система адаптирована к современным математическим пакетам и измерительным комплексам. Большая часть материалов этой главы приведена в виде инструкции пользователя, что облегчает решение практических задач.

В седьмой, заключительной главе представлены результаты экспериментального исследования долговечности лопаток газовой турбины и их диагностики. Наличие дефектов устанавливалось по данным анализа спектра свободных затухающих колебаний лопатки после ударного возбуждения. Экспериментально определены характерные спектры свободных колебаний кондиционных лопаток и лопаток с трещинами. Анализ спектров колебаний по различным параметрам и в разных координатах позволил классифицировать лопатки по признакам поврежденности. На основании анализа результатов многочисленных экспериментальных исследований разрушения образцов из высоколегированных сплавов и сталей с использованием методов распознавания дефектов и конкретизированных нейросетевых моделей предложены адекватные уравнения их диагностики и предельных состояний. По параметрам полученных уравнений определено изменение предела выносливости лопаток двигателя в зависимости от физико-механических свойств материала и параметров технологических процессов. Так, на изменение предела выносливости при алмазном выглаживании влияние с различной степенью информативности оказывают 16 факторов (усилие выглаживания, радиус сферы алмазного инструмента, твердость материала, пределы прочности и текучести и др.), при обкатке – 9 факторов (усилие обкатки, среднее контактное давление, твердость материала, пределы текучести и прочности и др.), при повышенных температурах – 11 факторов (температура испытаний, модуль упругости, пределы прочности и текучести, усилие выглаживания и др.), при упрочнении шариками в ультразвуковом поле – 9 факторов (скорость и масса шарика, время упрочнения, объем камеры, предел прочности и др.). Кроме того, эти уравнения по сравнению с известными статистическими имеют более высокие показатели адекватности и точности. Количество измеряемых факторов при использовании нейросетевых моделей уменьшается.

Изложенные в монографии материалы свидетельствуют о перспективности использования методов искусственного интеллекта для решения проблем надежности и долговечности газотурбинных двигателей.

Хотелось бы пожелать авторам в дальнейшем больше внимания уделить разработке соответствующих уравнений предельных состояний материалов с дифференцированной оценкой влияния дефектов на зарождение, распространение трещин и окончательное разрушение детали. Полученные результаты можно использовать при изучении несущей способности конструкций атомных и тепловых электростанций, химического и металлургического производства, газо- и нефтепроводов и т.д. Монография рассчитана на механиков, технологов, материаловедов.

Д-р техн. наук, проф.  
Б. С. Карпинос