

УДК 678.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2021 Г.В. Дмитриенко, Д.В. Мухин

Ульяновский государственный технический университет,
обособленное структурное подразделение
«Институт авиационных технологий и управления», Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 10.12.2020

Рассмотрены вопросы автоматизации процесса диагностики ПКМ в лабораторных и заводских условиях, посредством использования фазированных антенных решеток.

Ключевые слова: композиционные материалы, диагностика, автоматизация

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-17-20

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-48-732005\18

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкцию летательных аппаратов представляет собой одну из ключевых тенденций современного авиастроения. Внедрение новых материалов и новых технологий их изготовления и обработки требует развития средств диагностики, обеспечивающих необходимый уровень надежности изготовленных из ПКМ изделий, проверка их на соответствие заявленным требованиям и выявление недопустимых отклонений (дефектов) в этих материалах, при использовании их в производстве авиационных изделий.

В настоящее время в авиационной промышленности используется широкий ассортимент ПКМ, каждый из которых характеризуются индивидуальными своими как конструктивными (прочность, жесткость, устойчивость к агрессивным средам и т.д.) так и радиотехническими (радиопрозрачность, радиопоглощение, проводимость). Поэтому для каждого используемого типа или образца материала необходимо иметь свой рабочий эталон или образцовую меру для проведения его диагностики. Для большого производства иметь большой набор эталонной базы материалов экономически не очень удобно, поэтому лучше иметь электронный математический аналог, который прост в использовании и удобен в обработке результа-

тов измерений, и легко тиражируем для массового использования [1-8].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе рассматриваются вопросы автоматизации параметров ПКМ, перевод всего процесса контроля и измерения параметров материалов в цифровой формат. Для проведения процесса диагностики требуется собрать метрологическую схему, которая в себя включает: измерительную аппаратуру, эталон или образцовую меру, сам материал, методику обработки результатов измерений. С целью автоматизации процесса диагностики вводится цифровой двойник. Концепция «цифрового двойника» призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты.

В качестве образцовой меры-эталона предложено создать цифровой двойник (цифровой двойник – электронный аналог реального типа используемого материала) с которым производятся сравнение параметров реального материала. Поскольку на предприятии используется несколько десятков типов ПКМ, хранить и тиражировать их цифровые двойники не является слишком затратно.

При этом, цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии разработки и изготовления продукта. Он продолжает агрегировать данные в течение всего жизненного цикла объекта. Это могут быть данные о состоянии изделия, показатели датчиков, история операций, заводская (as-build) и сервисная (as-maintained) конфигурация,

Дмитриенко Герман Вячеславович, доктор технических наук, профессор кафедры «Самолетостроение».

E-mail: dmitrienko.german@yandex.ru

Мухин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение».

E-mail: dmuhin123@mail.ru

версия программного обеспечения и многое другое. Цифровой двойник хранит всю историю рабочих данных. Это даёт дополнительные возможности для технического обслуживания, прогнозирования состояния изделия из ПКМ и дальнейшего развития теории и практики создания авиационных композитов.

В результате получаем цифровые двойники всех типов ПКМ которые используются на предприятии, кроме того возможно автоматизировано создавать электронные протоколы результатов диагностики по каждому образцу используемого ПКМ.

ПУТИ РЕШЕНИЯ

Для полноценной диагностики входных и выходных ПКМ на предприятии требуется: специализированное оборудование для ее проведения ПКМ в рабочих и условиях, приближенных к эксплуатационным; эталонные образцы или меры (для проведения процесса сравнения используемых образцов); высококвалифицированные кадры, выполняющие процесс диагностики ПКМ; методики обработки результатов измерений, полученных в процессе диагностики. В данном случае, для ПКМ требуется их параметры (ϵ – диэлектрическая проницаемость, $\text{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, σ – проводимость)

На предприятии первично составляется перечень ПКМ, их классификация, классификация основных требований и параметров, по которым будет производиться анализ пригодности данного материала в конструкцию изделия. Данная информация представляется в виде укрупненной базы данных (БД), которая содержит всю техническую и технологическую информацию в электронном виде для дальнейшего ее использования. По методу диагностики (нахождение или отражение электромагнитной волны от материала) определяются и задаются допустимые диапазоны.

Проводить зондирование электромагнитной волной предпочтительнее делать на фазированных антенных решетках (ФАР) [9]. Недостатки: большие геометрические размеры; энергопотребление. Достоинства ФАР: задание размера диагностической области (которая определяется шириной луча); повышение помехозащитности (определяется уровнем боковых лепестков), электронное управление движением лучом, по заданному алгоритму; возможность автоматизации процесса диагностики.

Автоматизация процесса в качестве сканирующего устройства используется фазированная антенна решетка (ФАР) или активная фазированная антенна решетка (АФАР). Полученную информацию можно сразу передавать на авто-

матическую систему обработки измерительной информации, производя необходимые с ней действия, заложенные в алгоритме системы диагностики ПКМ. Кроме того данные устройства и операции позволяют вести процесс автоматизировать, т.е. исключив человека из операций измерения и получения информации, оставив за ним только определение программы диагностики и испытаний и принятие окончательного решения по полученным значениям.

Особенно хочется отметить достоинство ФАР: при диагностике с помощью электронного движения луча можно задавать различный угол падения зондирующего сигнала; для поиска и выявления некоторых пустот дефектов, неоднородностей можно производить поиск используя одну ФАР в многолучевом режиме, что позволяет получить избыток информации по диагностике, и используя машинный способ обработки информации получить, конечною информацию, почти в реальный момент времени. Кроме того, ФАР позволяют производить диагностику материалов при повышенных температурах, так как производится диагностика без контактного метода.

Управление электрическим сканированием луча и измерительной аппаратурой проводящей регистрацию в текущий момент времени, управление удобно производить через ПЛИС (программируемая логическая схема), в которую может быть зашивается индивидуальная программа диагностики под конкретный тип НКМ, цифровые двойники измеряемых материалов ПКМ, другая служебная информация. Также могут задаваться различные условия, приближенные к эксплуатационным, различные температурные режимы и т.д. При смене типа ПКМ или условий диагностики или другие требования предъявляемые к диагностике – программа диагностики переписывается электронно и в ПЛИС перепрошивается.

Данный вариант автоматизации устраняет из процесса диагностика оператора, оставляя его только на начальном этапе задание программы диагностики, и в конечном этапе обработке полученной измерительной информации.

В результате автоматизации процесса диагностики мы повышаем точность полученной измерительной информации, и выходим на задачу выработки рекомендаций по принятию оптимальных решений оператором осуществляющего диагностику ПКМ, с целью достижения желаемого результата.

Поскольку процесс диагностики может быть полностью автоматизирован и передан управлению электронной машине, то возникает хорошая возможность введения машинного обучения, приводя идеализированный процесс диагностике к реальному, учитывая реальные

особенности, как нестандартные ситуации. Такие действия, явления могут быть внесены как элементы в качестве дополнения машинного обучения процесса диагностики ПКМ.

Машинное обучение охватывает следующую категорию задач:

- 1) Задача регрессии – прогноз на основе выборки объектов с различными признаками.
- 2) Задача классификации – получение категориального ответа на основе набора признаков.
- 3) Задача кластеризации – распределение данных на группы: разделение всех клиентов мобильного оператора по уровню платёжеспособности, отнесение космических объектов к той или иной категории.
- 4) Задача уменьшения размерности – сведение большого числа признаков к меньшему (обычно 2–3) для удобства их последующей визуализации (например, сжатие данных).
- 5) Задача выявления аномалий – отделение аномалий от стандартных случаев.

Результаты диагностики ПКМ с помощью ФАР приведены в таблице 1.

Полученные данные подтверждаются заводскими отчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dmitrienko, G.V., Fedorov A.A, Rivin, G.L.* (2019). Radio-Frequency Method for Diagnostics of Aeronautical Polymer Composite Materials // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, 01-Special Issue, p.421-430
2. Волокнистые и дисперсноупрочные композиционные материалы. Справочник. / В.В. Васильев. – М.: Изд-во Наука, 1976. – 214 с.
3. Углеродные волокна и углекомполиты // Под ред. А.А. Берлина. – М.: Изд-во Мир, 1988. – 270 с.
4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В. В. Клюева. Кн.1. М.: Машиностроение, 1976. 396 с.
5. Углеродные волокна и углекомполиты / Под ред. Э. Фатцер. – М.: Изд-во Мир, 1988. – 336 с.
6. *Макалистер, Л.* Многонаправленные углерод-углеродные композиты. / Л. Макалистер, У. Лакман // Прикладная механика композитов. – М.: Изд-во Мир, 1989. – С. 226-294.
7. Заявка 2772520 Франция, МПК6Н 01 Q 17/00 Material composite structural absorbant les ondes radar et utilisation d'un tel materiau: / Escarmant Jean Francois; Giat Ind. SA.- ?9715681; Заявл. 11.12.97; Опубл. 18.6.99.
8. *Потапов, А.А.* Метрологическое обеспечение

Таблица 1. Результаты расчетных параметров одного образца углеродного ПКМ

ε'	ε''	$T_{изм.}$	$\varphi_{T,град}$
1100	1000	0,6168	1,1376
1100	1100	0,6262	1,1302
1100	1200	0,6354	1,1244
1100	1300	0,6443	1,1197
1100	1400	0,6529	1,1162
1100	1500	0,6612	1,1134
1100	1600	0,6692	1,1115
1100	1700	0,6768	1,1105
1200	1200	0,6389	1,1380
1200	1300	0,6472	1,1328
1200	1400	0,6552	1,1286
1200	1500	0,6631	1,1253
1200	1600	0,6704	1,1228
1200	1700	0,6776	1,1208
1200	1800	0,6845	1,1195
1300	1200	0,6427	1,1506
1300	1300	0,6504	1,1449
1300	1400	0,6578	1,1402
1300	1500	0,6652	1,1366
1300	1600	0,6722	1,1333
1300	1700	0,6789	1,1309
1300	1800	0,6847	1,1290
1300	1900	0,6918	1,1276

ε'	ε''	$T_{изм.}$	$\varphi_{T,град}$
800	800	0,577	1,098
800	850	0,584	1,094
800	900	0,5907	1,089
800	950	0,5973	1,086
800	1000	0,6039	1,0833
800	1050	0,6101	1,0807
800	1100	0,6162	1,0786
800	1150	0,6222	1,0769
800	1200	0,628	1,0759
900	800	0,5836	1,1213
900	900	0,5957	1,111
900	1000	0,6075	1,1034
900	1100	0,6189	1,0974
900	1200	0,6298	1,093
900	1300	0,6402	1,0903
900	1400	0,6499	1,0885
900	1500	0,6592	1,0875
1000	900	0,601	1,13
1000	1000	0,6119	1,121
1000	1100	0,6227	1,1147
1000	1200	0,6324	1,1094
1000	1300	0,6419	1,1056
1000	1400	0,6512	1,1027
1000	1500	0,6599	1,1008
1000	1600	0,6683	1,10996

средств измерений ди-электрической проницаемости / А.А. Потапов, О.И. Гудков – М.: Изд-во ВНИИТИ, 1978. – 30 с.

9. *Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч.* Теория и анализ фазированных антенных решеток. М.: Мир, 1974. 458 с.

AUTOMATION OF DIAGNOSTIC METHODS FOR POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

© 2021 G.V. Dmitrienko, D.V. Mukhin

Ulyanovsk State Technical University,
Separate Structural Unit
«Institute of Aviation Technologies and Management», Ulyanovsk, Russia

The issues of automation of the PCM diagnostics process in laboratory and factory conditions, through the use phased array antennas.

Key words: Composite materials, diagnostics, automation

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-1-17-20

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Ulyanovsk Region within the framework of the scientific project No. 18-48-732005 \ 18

German Dmitrienko, Doctor of Technics, professor at the Aircraft Engineering Department.

E-mail: dmitrienko.german@yandex.ru

Dmitry Mukhin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Engineering Department.

E-mail: dmuhin123@mail.ru