

Разработка метода комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля для обнаружения внутренних дефектов сложных конструкций

10, октябрь 2013

DOI: 10.7463/1013.0615195

Крайний В. И.

УДК 620.192

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
vladk5@yandex.ru

Введение

Современное развитие техники и технологий создания изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и обеспечения безопасности эксплуатации сложных технических систем невозможно без применения методов неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики [1 - 3].

Проведенные исследования [3] показали, что в многослойных конструкциях из ПКМ наличие дефектов, например, типа нарушения сплошности материала, приводит к снижению их эксплуатационных характеристик. Учитывая большую стоимость и трудоемкость изготовления изделий из ПКМ, а также высокую стоимость изделий, в которых они эксплуатируются, большую актуальность приобретает обнаружение дефектов на ранних стадиях изготовления изделий. Поэтому целесообразно создание и внедрение недорогой аппаратуры и методов достоверного и высокопроизводительного обнаружения дефектов с широкой областью применения для осуществления контроля на максимально возможном числе стадий технологии изготовления изделий.

В настоящее время существует очень большое многообразие аппаратуры НК, при этом совершенствование аппаратуры идет по пути повышения точности и расширения ее функциональных возможностей, т.е. создается универсальная аппаратура для различных областей применения, что не всегда технически и

экономически оправдано. Создание новой специальной аппаратуры экономически также не всегда оправдано вследствие больших финансовых и временных затрат и большого времени окупаемости. Тем не менее, это направление является необходимым в случае отсутствия аппаратуры для осуществления специальных операций контроля.

Более эффективным в некоторых случаях может оказаться направление создания специального методического и программного обеспечения НК с применением существующего аппаратного парка. Это направление имеет меньшие финансовые затраты, однако требует достаточно больших трудозатрат на отработку технологии контроля и не всегда дает возможность оперативного расширения области применения аппаратуры и технологий НК.

Наряду с совершенствованием аппаратуры контроля и методического обеспечения (методов математического моделирования, методов обнаружения дефектов и т.д.) целесообразно проводить контроль объекта одновременно несколькими методами (с использованием существующей аппаратуры) с последующей совместной обработкой полученных результатов (комплексированием) с целью оптимизации использования методов и режимов контроля для решения поставленных задач.

Экономическая выгода от предлагаемого метода заключается в возможности использования существующего парка технических средств и, соответственно, сокращения финансовых и временных затрат на внедрение технологии контроля, а техническая выгода заключается в достаточно большой универсальности технологии контроля и в повышении достоверности и оперативности результатов контроля.

В последнее время появляется все больше публикаций, свидетельствующих о тенденции комплексирования методов НК для обеспечения необходимой достоверности и информативности результатов контроля, например [4-6].

Общий недостаток публикуемых работ заключается в отсутствии совместной обработки данных и оптимизации режимов контроля.

В настоящей статье приведены результаты разработки метода комплексирования методов НК, направленные на решение поставленных задач, на основе методов оценки эффекта телескопирования и построения многомерного аналога способа обратных вероятностей. Ранее подобные подходы применялись при геофизических

исследованиях [7] и были использованы для комплексирования методов НК в работах [1, 2] и других.

Контроль объекта осуществляется одновременно несколькими методами (с использованием существующей аппаратуры) с последующей совместной обработкой полученных результатов (комплексирование) с целью оптимизации использования методов и режимов контроля для решения поставленных задач.

Экономическая выгода от предлагаемого метода заключается в возможности использования существующего парка технических средств и, соответственно, сокращения финансовых и временных затрат на внедрение технологии контроля, а техническая выгода состоит в достаточно большой универсальности технологии контроля и в повышении достоверности и оперативности результатов контроля.

Постановка задачи

Основными тенденциями обследования объектов с целью определения аномалий структуры, конструкции и других дефектов являются повышение достоверности определения аномалий и расширение области использования аппаратуры и технологии контроля. Наличие многих методов НК не случайно: оно свидетельствует об отсутствии универсальных методов. Часто только рациональный выбор их комплексов позволяет достичь требуемого результата при НК. Под комплексированием устройств НК понимается их объединение в комплексную систему, осуществляющую совместную обработку информации и обеспечивающую повышение достоверности, помехозащищенности и надежности.

Необходимость комплексирования методов обусловлена также тем, что многие из них, во-первых, некорректны: малым изменениям сигналов от аномалий, дефектов и повреждений могут соответствовать большие изменения их физико-геометрических параметров. Эта закономерность известна как принцип эквивалентности [7].

Во-вторых, по мере увеличения трудностей обнаружения аномалий и дефектов уменьшается отношение величины сигнала к уровню помех. В результате, несмотря на совершенствование методов, отношение сигнал/помеха увеличивается мало. По этим причинам определение параметров аномалий и дефектов оказывается затрудненным,

неоднозначным и недостоверным. Для уменьшения некорректности необходимо применение ряда методов с разными физическими основами.

Комплексирование устройств НК можно классифицировать на два вида:

- 1) по информации на входе устройств;
- 2) по информации на выходе устройств.

При комплексировании по информации на входе устройств система синтезируется на основе обработки сигналов, полученных в зоне аномалии или дефекта и представляющих из себя векторный процесс на входе устройств. Такой подход позволяет получать максимальное количество информации из наблюдаемого процесса.

При комплексировании по информации на выходе устройств используется векторный процесс на выходе устройств после обработки. Такая система синтезируется с учетом ограничений, накладываемых использованием конкретных устройств, качество обработки информации при этом может быть ниже, чем при комплексировании на входе устройств. Тем не менее, комплексирование по информации на выходе устройств целесообразно, так как позволяет синтезировать оптимальную или квазиоптимальную систему с учетом тех устройств, которые производятся или уже имеются в наличии.

Создание комплексных систем НК подразумевает использование различных физических полей на разных уровнях наблюдения (на некотором расстоянии, на поверхности или внутри объектов: оборудования, конструкций, зданий, грунта и т.п.). Это существенным образом расширяет информацию об изучаемых объектах и процессах и возможности ее обработки и интерпретации на ПК в целях решения различных задач. Комплексный характер информации обуславливает необходимость использования системного анализа при обработке и интерпретации данных.

Большое значение приобретает проблема комплексирования многопараметровой информации. Принципы системного анализа основываются на положении, что процессы, происходящие внутри объекта и на его поверхности, взаимосвязаны. Система НК должна включать комплексную компьютерную обработку на основе использования разных физических полей (теплого $T(x, y, z, t)$, радиоволнового $U_p(x, y, z, t)$, ультразвукового $U_{yz}(x, y, z, t)$ и других видов), ее интеграцию при разных уровнях зондирования (на некотором расстоянии от объекта контроля, на его поверхности, внутри объекта контроля) и комплексирование информации как по

методам, так и по уровням для определения векторных параметров \vec{d} аномалий или дефектов $F_{\text{def}}(\vec{d})$

$$f(T(x, y, z, t), U_p(x, y, z, t), U_{yz}(x, y, z, t), \dots) \rightarrow F_{\text{def}}(\vec{d})|_{t=t_0}$$

На практике системный анализ сводится к тому, что оптимизируются отдельные элементы системы и устанавливается их влияние на эффективность системы в целом. Например, максимизируется значение энергетического отношения сигнал/помеха в многомерном (разные методы и много уровней) пространстве для решения задачи обнаружения аномалий, дефектов и повреждений обследуемых объектов. Комплексная же оптимизация труднореализуема из-за сложности обработки большого объема регистрируемой информации, принципа эквивалентности и неоднозначности решения обратных задач для разных методов.

При решении задач обнаружения аномалий и дефектов по одному полю или по комплексу полей можно максимизировать либо пиковое, либо энергетическое отношение сигнал/помеха в многомерном пространстве этих полей. При разных априорных ограничениях, накладываемых на полезный сигнал и помеху, это обуславливает использование методов распознавания образов (многомерные аналоги способов обратных вероятностей и самонастраивающейся фильтрации, метод главных компонент и т. д.) для комплекса полей [7-20]. Следующий этап системного анализа - оптимальный выбор стратегии, обеспечивающей достижение цели управления. Например, оптимальный комплекс методов при решении задачи поисков аномалий и дефектов может быть выбран путем минимизации функции потерь, включающей энергетическое отношение сигнал/помеха, рассчитываемое для любого набора физических полей.

Поскольку исходная информация регистрируется на разных уровнях, практически все конкретные приложения связаны с анализом корреляционных (ковариационных) матриц измеряемых полей и признаков. Размерность этих матриц зависит от числа уровней наблюдения регистрируемых полей и признаков, от числа точек наблюдения на каждом уровне и т.д.

Для решения задачи обнаружения дефектов по данным комплекса разных методов и с учетом многоуровневых наблюдений можно применять следующие методы: оценки эффекта телескопирования; построения многомерных аналогов

способов обратных вероятностей (при наличии априорной информации о форме аномалий) и самонастраивающейся фильтрации (при отсутствии информации о форме аномалий) [7] и т.д. Далее в статье рассмотрены методы оценки эффекта телескопирования и построения многомерного аналога способа обратных вероятностей.

Описание используемых методов

Обнаружение аномалий и дефектов основано на принципах расширения площади исследования и сохранения их проявлений в физических полях разного уровня [7], что выражается в эффекте телескопирования аномалий этих полей - совпадении аномалий по всем уровням и уменьшении их размеров при переходе к более низкому уровню. Этот эффект проявляется в телескопичности аномальных значений:

- комплексного параметра (или меры сходства), полученных на разных уровнях при обработке данных с помощью алгоритмов распознавания образов;
- энергетического отношения сигнал/помеха, полученного по результатам обработки полей разного уровня.

При использовании одного метода для обнаружения аномального эффекта, создаваемого, например, дефектом на трёх разных уровнях, используется количественная оценка эффекта телескопирования (в i -й точке) ρ_i [7], соответствующая отношению аномалия/помеха при многоуровневом наблюдении и равная следующей квадратичной форме:

$$\rho_i = X^T D^{-1} X$$

или

$$\rho_i = [X_1, X_2, X_3] \begin{bmatrix} 1/D_1 & & \\ & 1/D_2 & \\ & & 1/D_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3 - векторы либо наблюдаемых значений поля, либо значений комплексного параметра (мер сходства) на трех уровнях наблюдений, $1/D_1, 1/D_2, 1/D_3$ - величины, обратные дисперсиям значений поля или мер сходства на разных уровнях.

При измерениях по площади векторы X_1, X_2, X_3 представляют собой квадратные или прямоугольные матрицы, размеры которых определяются величиной двумерного «окна» на каждом уровне съемки. Количество точек для интервала или «окна» каждого уровня съемки определяется априорными размерами искомой аномалии, в качестве их оценок используются значения интервалов корреляции, вычисляемые по одномерным или двумерным автокорреляционным функциям наблюдаемых полей.

Выражение (1) справедливо для некоррелированных помех, в противном случае в обратной корреляционной матрице помех D^{-1} следует учитывать корреляционные свойства. Значения D_1, D_2, D_3 определяют на участках, о которых точно известно, что там нет аномалий. Текущее значение величины ρ определяют путем перемещения заданных по размерам интервала или «окна» в пределах наблюдаемых значений.

Решение об аномальности величины ρ_i следует принимать на основе применения статистики (критерия) Фишера [7]. При $\rho_i > \rho_n$, где ρ_n определяется по таблицам распределения статистики Фишера для заданных степеней свободы и вероятности ошибки I рода (пропуска сигнала), принимается решение о наличии эффекта телескопирования и, соответственно, аномалии.

В случае, когда имеются наблюдаемые значения по разным методам и по различным уровням одновременно, обратная корреляционная матрица D^{-1} превращается в блочную матрицу (матрицу матриц), а вектор X в матрицу, число строк которой определяется числом уровней. Например, для двух уровней и трех полей, наблюдаемых по каждому уровню, выражение (1) приобретает вид

$$\rho = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{21} & X_{31} \\ X_{12} & X_{22} & X_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/D_{11} & & 0 \\ & 1/D_{21} & \\ 0 & & 1/D_{31} \end{bmatrix} & & \\ & [0] & \\ & & \begin{bmatrix} 1/D_{12} & & 0 \\ & 1/D_{22} & \\ 0 & & 1/D_{32} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \\ X_{31} & X_{32} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где первый индекс в обозначениях X и D соответствует номеру метода, а второй индекс - номеру уровня. Если наблюдаемые значения представляют собой данные, измеренные по некоторой площади при использовании комплекса полей и при этом на разных уровнях, то выражение (2) преобразуется в перемножение блочной матрицы X , каждое

значение X_{ij} - матрица, число блоков которой определяется числом уровней, на двойную блочную матрицу D^{-1} , т. е. матрицу матриц, где число блоков первого порядка определяется числом методов, а число блоков второго порядка - числом уровней.

Оценка эффекта телескопирования (1) положена в основу при обобщении рассматриваемого далее способа обратных вероятностей для комплекса одновременно наблюдаемых физических полей (или нескольких уровней наблюдения одного и того же поля). Надежность обнаружения комплексной аномалии γ определяется суммой значений энергетических отношений аномалия/помеха, рассчитанных для каждого l -го поля (или l -го уровня), т.е. $\rho = \sum \rho_l$, $l = 1, \dots, L$, L - число полей (или число уровней наблюдения) [7].

Надежность обнаружения γ рассчитывается с помощью интеграла вероятности:

$$y = \varphi(\sqrt{\rho/2}) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\sqrt{\rho/2}} e^{-x^2/2} dx \quad (3)$$

Способ обратных вероятностей для обнаружения аномалий и дефектов может быть сформулирован следующим образом: в i -й точке наблюдаемые значения представляются L -мерным вектором $Y_i = (y_{1i}, \dots, y_{Li})$, компонентами которого y_{1i}, \dots, y_{Li} являются значениями по отдельным полям или уровням.

Наблюдаемые значения в i -й точке Y_i являются суммой векторной аномалии $A_i = (a_{1i}, \dots, a_{Li})$ и помехи $N_i = (n_{1i}, \dots, n_{Li})$, т.е. $Y_i = A_i + N_i$ или только помехи $Y_i = N_i$. Здесь a_{1i}, \dots, a_{Li} - заданные по форме аномалии для каждого поля или уровня. Предполагается, что векторная помеха n_{1i}, \dots, n_{Li} имеет L -мерное нормальное распределение с нулевым средним и дисперсией D , а также что помехи для каждого поля не коррелированы.

Задача обнаружения L -мерной аномалии может быть сформулирована следующим образом: для интервала из m точек (интервал m оценивается для наиболее протяженной аномалии) и L полей или уровней определить, являются ли наблюдаемые сигналы суммой известных по форме аномалий и L -мерной помехи (ненулевая статистическая гипотеза H_1) $Y_i = A_i + N_i$, $i=1, \dots, m$, или являются только помехой по каждому полю в отдельности $Y_i = N_i$, $i=1, \dots, m$ (нулевая статистическая гипотеза H_0).

Форму аномалии по каждому полю определяют, как и в одномерном варианте способа, из решения прямых задач. Дисперсию помехи оценивают на участке, о котором точно известно, что аномалии или дефекты на нем отсутствуют.

По аналогии с одномерным вариантом способа обратных вероятностей можно получить выражения для функций правдоподобия для гипотез H_1 и H_0 - $P(Y/H_1)$ и $P(Y/H_0)$ соответственно, тогда отношение правдоподобия с учетом предположения о некоррелированности помехи для разных полей имеет вид

$$\Lambda = P(Y/H_1)/P(Y/H_0) = \exp[\sum_i Y^T_i D^{-1} A_i - (1/2) \sum_i A^T_i D^{-1} A_i]. \quad (4)$$

При $\Lambda > 1$ выполняется гипотеза H_1 , при $\Lambda \leq 1$ - гипотеза H_0 . Апостериорная вероятность наличия аномалии $p(H_1/Y)$ рассчитывается по формуле Байеса (формуле обратных вероятностей), которая в данном случае принимает следующий вид:

$$p(H_1/Y_i) = \Lambda/(\Lambda + 1). \quad (5)$$

При $p(H_1/Y) > 0,5$ принимается решение о наличии аномалии A_i , при $p(H_1/Y) \leq 0,5$ - об ее отсутствии.

Надежность обнаружения γ аномалии вычисляют с помощью интеграла вероятности (3), в котором верхним пределом является обобщенное энергетическое отношение аномалия/помеха $\rho = A^T D^{-1} A$

$$\gamma = \varphi(\sqrt{A^T D^{-1} A/2}). \quad (6)$$

Аналогично величине $A^T D^{-1} A$ можно рассчитать выражение $Y^T D^{-1} A$ в формуле (4), в которой компонентами вектора Y являются наблюдаемые значения в m точках каждого поля или уровня. В случае одновременного наблюдения различными методами и на разных уровнях, корреляционная матрица становится блочной, а векторы A_i и Y_i превращаются в матрицы.

Рассмотрим несколько примеров оценки результатов комплексирования описанных выше методов, в т.ч. комбинации нескольких методов и комплексирования всех методов одновременно.

В таблице приведены характеристики параметров обнаружения аномалий, определенных экспериментально, для различных методов и дисперсия помехи.

Таблица

№ п/п (i)	Метод НК	Параметры аномалий			Дисперсия помехи D_i
		a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	
1	2	3	4	5	6
1	Метод ультразвуковой термографии	0,2	0,5	0,2	0,1
2	Автоматизированный рентгеновский контроль портативной аппаратурой	0,4	1,6	0,4	1,2
3	Ультразвуковой теневой (квазитеневой) контроль (автоматизированный)	0,6	1,8	0,6	1,5
4	Динамический тепловой контроль дефектов – концентраторов напряжений	0,3	0,6	0,3	0,2
5	Активный тепловой контроль	0,5	2	0,5	2

В первом примере (совместное использование первого и пятого методов из табл.

1) приведем пример расчета квадратичной формы $A'D^{-1}A$.

В этом случае величина $\rho = A'D^{-1}A$ равна

$$\rho = [0,2 \quad 0,5 \quad 0,2 \quad 0,5 \quad 2 \quad 0,5] \begin{bmatrix} 10 & & & & & 0 \\ & 10 & & & & \\ & & 10 & & & \\ & & & 0,5 & & \\ & & & & 0,5 & \\ 0 & & & & & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,5 \\ 0,2 \\ 0,5 \\ 2 \\ 0,5 \end{bmatrix} = 5,55$$

В соответствии с (6) значение надежности комплексного обнаружения аномалии $\gamma = 0,9$, в то время как при использовании только первого поля $\gamma = 0,8$ ($\rho_1 = 3,3$), пятого - $\gamma = 0,71$ ($\rho_2 = 2,25$).

Во втором примере (совместное использования первого и четвертого методов из табл. 1) для первого поля значения аномалии остаются теми же, что и в первом примере, а для четвертого поля - аномалия $a_{21} = 0,3; a_{22} = 0,6; a_{23} = 0,3$, дисперсия $D_2 = 0,2$. В этом случае величина $\rho = A'D^{-1}A = 6$.

Значение надежности комплексного обнаружения аномалии $\gamma = 0,92$, а при использовании только первого поля $\gamma = 0,8$ ($\rho_1 = 3,3$), четвертого - $\gamma = 0,75$ ($\rho_2 = 2,7$). Как следует из этих примеров комплексирование двух методов позволяет увеличить надежность обнаружения аномалии (дефекта).

На рисунке представлена зависимость надежности комплексного обнаружения аномалии γ от числа используемых методов n .

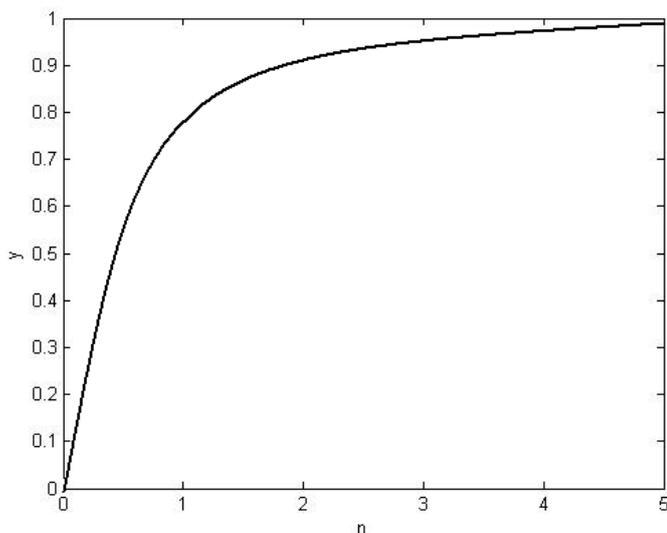


Рисунок. Зависимость надежности комплексного обнаружения аномалии γ от числа используемых методов n

Выводы

Использование рассмотренного метода комплексирования на основе способа обратных вероятностей для комплекса одновременно наблюдаемых физических полей

позволяет существенно повысить надежность обнаружения аномалий (дефектов) и более достоверно их обнаруживать. Комплексирование также дает экономический эффект за счет отказа от создания специальной дорогой аппаратуры и использования существующей аппаратуры при увеличении надежности обнаружения аномалий.

Список литературы

1. Бекаревич А.А., Будадин О.Н., Крайний В.И., Пичугин А.Н. Исследование возможности комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля сложных конструкций // Контроль. Диагностика. 2013. № 2 (176). С. 75-80.
2. Будадин О.Н., Филипенко А.А., Муханов Е.Е., Крайний В.И., Троицкий-Марков Т.Е. Повышение достоверности результатов дефектоскопии сложных конструкций из композитных материалов на основе комплексирования многопараметровой информации // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики: сб. докладов 19-ой международной конференции (Гурзуф, 3-7 октября 2011 г.). Гурзуф – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2011. С. 121-128.
3. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Наука, 2001. 476 с.
4. Capineri L., Falorni P., Ivashov S., Zhuravlev A., Vasiliev I., Razevig V., Bechtel T., Stankiewicz G. Combined Holographic Subsurface Radar and Infrared Thermography for Diagnosis of the Conditions of Historical Structures and Artworks // Geophysical Research Abstracts. Vol. 11. EGU General Assembly, 2009. EGU2009-5343-2.
5. Yella S., Dougherty M.S., Gupta N.K. Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing // Insight. 2006. Vol. 48, no. 1. P. 10-19.
6. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Диагностика безопасности. Тепловой контроль / под общ. ред. акад. РАН В.В. Клюева. М.: ИД «Спектр», 2011. 171 с.
7. Кузнецов О.Л., Никитин А.А. Геоинформатика. М.: Недра, 1992. 302 с.
8. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
9. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.

10. Васильев В.В., Барынин В.А., Разин А.Ф. Петроковский С.А., Халиманович В.И. Анизотропные композитные сетчатые конструкции – разработка и приложение к космической технике // Композиты и наноструктуры. 2009. № 3. С. 38-49.
11. Крамер Г. Математические методы статистики: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 648 с.
12. Иванов И.Н. Определение порогового уровня сигналов при дефектоскопии углеродных материалов // Дефектоскопия. 1974. № 5. С. 136-139.
13. Дрейзин В.Э. О статистическом подходе к решению многопараметровых метрических задач неразрушающего контроля // Дефектоскопия. 1981. № 3. С. 5-14.
14. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. В 2 вып. Вып. 1 / пер. с англ. Ю.Н. Блоговещенского ; под ред. и с предисл. Ю.П. Адлера. М.: Финансы и статистика, 1982. 317 с.
15. Хьюбер Дж.П. Робастность в статистике: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 304 с.
16. Кокс Дж., Хинкли Дж. Задачи по теоретической статистике с решениями: пер. с англ. М.: Мир, 1981. 224 с.
17. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных : справочное издание. М.: Финансы и статистика, 1983. 417 с.
18. Хелендер М., Вулф Д.А. Непараметрические методы статистики: пер. с англ. М.: Финансы и статистика. 1983. 518 с.
19. Gastwirth J. L., Cohen M.L Small Sample Behavior of Some Robust Linear Estimators of Location // Journal of the American Statistical Association. 1970. Vol. 65, no. 330. P. 950-973. DOI: 10.1080/01621459.1970.10481137
20. Gastwirth J. L., Rubin H. On Robust Linear Estimation // Ann. Math. Stat. 1969. Vol 40. P. 24-39.

Development of a complexation method for information of multi-parameter nondestructive control for detection of internal defects in complex structures

10, October 2013

DOI: [10.7463/1013.0615195](https://doi.org/10.7463/1013.0615195)

Krainy V.I.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation
vladk5@yandex.ru

Defects in multilayer constructions made of composite polymeric material, for example, defects that occur when the material discontinuities, reduce their performance. Considering a high cost and complexity of manufacturing such products from polymeric composite materials, as well as a high cost of products in which these polymeric items are used, detection of defects during manufacture and exploitation of products appears to be a very crucial task. Therefore, creation and implementation of equipment and methods for reliable detection of defects within a large application domain is reasonable. This paper describes main principles and methods of complexation of information of multi-parameter nondestructive control with the purpose of increasing reliability of detection of defects in complex structures by the example of structures made of polymeric composite materials. The results of developing a method of complexation of nondestructive control methods addressing the formulated problems are presented in this work. These results are based on estimation of the telescoping effect and building a multi-dimensional analogue of the inverse probability method.

Publications with keywords: [nondestructive control](#), [interconnecting](#), [flaw](#), [multi-parameter control](#), [reliability](#), [defect detection](#)

Publications with words: [nondestructive control](#), [interconnecting](#), [flaw](#), [multi-parameter control](#), [reliability](#), [defect detection](#)

References

1. Bekarevich A.A., Budadin O.N., Krayniy V.I., Pichugin A.N. Issledovanie vozmozhnosti kompleksirovaniya informatsii mnogoparametrovogo nerazrushayushchego kontrolya slozhnykh konstruksiy [Investigation of the possibility of integration of information multiparameter non-destructive testing of complex structures]. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2013, no. 2 (176), pp. 75-80.
2. Budadin O.N., Filipenko A.A., Mukhanov E.E., Krayniy V.I., Troitskiy-Markov T.E. Povyshenie dostovernosti rezul'tatov defektoskopii slozhnykh konstruksiy iz kompozitnykh materialov na osnove kompleksirovaniya mnogoparametrovoy informatsii [Increasing the reliability of the results of flaw detection of complex constructions made of composite materials based on multi-parameter data aggregation]. *Sovremennye metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoy diagnostiki: sb. dokladov 19-oy mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern methods and means of nondestructive testing and technical diagnostics: collection of papers of the 19th International Conference], Gurzuf, 3-7 October 2011. Gurzuf – Kiev, UITs “Nauka. Tekhnika. Tekhnologiya” Publ., 2011, pp. 121-128.
3. Budadin O.N., Potapov A.I., Kolganov V.I., Troitskiy-Markov T.E., Abramova E.V. *Teplovoy nerazrushayushchiy kontrol' izdeliy* [Thermal non-destructive testing of products]. Moscow, Nauka, 2001. 476 p.
4. Capineri L., Falorni P., Ivashov S., Zhuravlev A., Vasiliev I., Razevig V., Bechtel T., Stankiewicz G. Combined Holographic Subsurfaced Radar and Infrared Thermography for Diagnosis of the Conditions of Historical Structures and Artworks. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 11. EGU General Assembly, 2009, EGU2009-5343-2.
5. Yella S., Dougherty M.S., Gupta N.K. Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing. *Insight*, 2006, vol. 48, no. 1, pp. 10-19.
6. Budadin O.N., Vavilov V.P., Abramova E.V. *Diagnostika bezopasnosti. Teplovoy kontrol'* [Diagnosis of safety. Thermal control]. Moscow, ID «Spektr», 2011. 171 p.
7. Kuznetsov O.L., Nikitin A.A. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. Moscow, Nedra, 1992. 302 p.
8. Fomin Ya.A., Tarlovskiy G.R. *Statisticheskaya teoriya raspoznavaniya obrazov* [Statistical theory of pattern recognition]. Moscow, Radio i svyaz', 1986. 264 p.
9. Sosulin Yu.G. *Teoreticheskie osnovy radiolokatsii i radionavigatsii* [Theoretical bases of radiolocation and radionavigation]. Moscow, Radio i svyaz', 1992. 304 p.
10. Vasil'ev V.V., Barynin V.A., Razin A.F., Petrokovskiy S.A., Khalimanovich V.I. Anizotropnye kompozitnye setchatye konstruksii – razrabotka i prilozhenie k kosmicheskoy tekhnike [Anisogrid composite lattice structures - development and space applications]. *Kompozity i nanostrukturny* [Composites and nanostructures], 2009, no. 3, pp. 38-49.

11. Cramer H. *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton, Princeton University Press, 1966. (Russ. ed.: Cramer H. *Matematicheskie metody statistiki*. Moscow, Mir, 1975. 648 p.).
12. Ivanov I.N. Opredelenie porogovogo urovnya signalov pri defektoskopii uglerodnykh materialov [Determination of threshold level of signals during flaw detection of carbon materials]. *Defektoskopiya*, 1974, no. 5, pp. 136-139.
13. Dreyzin V.E. O statisticheskom podkhode k resheniyu mnogoparametrovykh metriceskikh zadach nerazrushayushchego kontrolya [On the statistical approach to the solution of multi-parameter metric NDT tasks]. *Defektoskopiya*, 1981, no. 3, pp. 5-14.
14. Mosteller F., Tukey J.W. *Data analysis and regression : a second course in statistics*. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1977. 588 p. (Russ. ed.: Mosteller F., Tukey J.W. *Analiz dannykh i regressiya*. V 2 vyp. Vyp. 1. Moscow, Finansy i statistika, 1982. 317 p.).
15. Huber P.J. *Robust Statistics*. New York, John Wiley and Sons, 1981. 320 p. (Huber P.J. *Robastnost' v statistike*. Moscow, Mir, 1984. 304 p.).
16. Cox D.R., Hinkley D.V. *Problems and Solutions in Theoretical Statistics*. New York, Oxford University Press, 1978. (Russ. ed.: Cox D.R., Hinkley D.V. *Zadachi po teoreticheskoy statistike s resheniyami*. Moscow, Mir, 1981. 224 p.).
17. Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh : spravochnoe izdanie* [Applied statistics: Fundamentals of modeling and primary data processing : a reference book]. Moscow, Finansy i statistika, 1983. 417 p.
18. Hollander M., Wolfe D.A. *Nonparametric Statistical Methods*. New York, John Wiley and Sons, 1973. (Russ. ed.: Hollander M., Wolfe D.A. *Neparametricheskie metody statistiki*. Moscow, Finansy i statistika. 1983. 518 p.).
19. Gastwirth J. L., Cohen M.L Small Sample Behavior of Some Robust Linear Estimators of Location. *Journal of the American Statistical Association*, 1970, vol. 65, no. 330, pp. 950-973. DOI: 10.1080/01621459.1970.10481137
20. Gastwirth J. L., Rubin H. On Robust Linear Estimation. *Ann. Math. Stat.*, 1969, vol. 40, pp. 24-39.