

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА РЕЗАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО МОТОКУЛЬТИВАТОРА

*Купряшкин В.Ф., Наумкин Н.И., Садиева А.Э., Капустин А.Г.,
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск, Российская Федерация
КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика*

THE ANALYSIS OF CHANGE OF THE CUTTING ANGLE MILLING CULTIVATOR

*Kupryashkin V.F., Naumkin N.N., Kapustin A.G.
Mordovia State University named after N. P. Ogarev,
Saransk, Russian Federation
E.-mail: kupwf@mail.ru
Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic*

В работе приводится анализ изменения угла резания почвы ножом фрезерного мотокультиватора в зависимости от его поступательной скорости и определенных режимов работы. Полученные результаты показывают, что при возможной эксплуатации мотокультиватора в диапазоне скоростей от 1 до 4 км/ч смятие почвы затылочной частью ножей происходит не будет

В настоящее время для обработки почвы в условиях как защищенного, так и открытого грунта широко используются самоходные малогабаритные почвообрабатывающие машины (мотокультиваторы и мотоблоки), что обеспечивает высокое качество работы по таким технологическим показателям, как измельчение и заделка растительных остатков, рыхление (крошение), выравнивание поверхности почвы, перемешивание

вание ее с минеральными удобрениями. Однако возникающие при этом значительные затраты мощности на фрезерование и большие динамические нагрузки на рабочие органы отрицательно сказываются на производительности и условиях работы оператора, что является основным сдерживающим фактором более эффективного их применения.

Из опыта использования фрезерных почвообрабатывающих машин [1, 2] на ряду с увеличением ширины захвата, одним из возможных способов повышения эффективности функционирования самоходных почвообрабатывающих фрез является увеличение подачи на один нож, что позволяет снизить энергозатраты на обработку почвы.

Однако при этом может возникнуть опасность смятия почвы затылочной частью ножа на этапе отрезания почвенной стружки, что в принципе не допустимо [3, 4]. Явление смятия почвы затылочной частью ножа на прямую связано с углом резания, на величину которого в свою очередь оказывают влияние режимы обработки почвообрабатывающей фрезы и конструктивные особенности ножей и фрезбарабана в целом.

Для определения угла резания α (рис. 1) существуют несколько расчетных зависимостей, предлагаемые различными авторами [3, 5]. Однако наиболее приемлемой для анализа угла резания является зависимость, полученная В. Н. Борисовым [3]:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi - \gamma \pm \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \varphi}{\frac{1}{\lambda} \pm \cos \varphi} \right), \quad (1)$$

где γ – минимальный угол установки ножа; λ – кинематический показатель; φ – угол поворота фрезбарабана, град.

На ряду с углом резания α , минимальный угол установки ножа γ_1 также оказывает влияние на процесс резания почвы. При увеличенном значении угла установки затылок ножа сминает необработанную почву, что увеличивает энергоемкость фрезерования, износ рабочих органов и возможность выглубления мотокультиватора. При малом его значении увеличивается сопротивление резанию и скатывание частичек почвы с полки ножа, т. е. возможны случаи излишнего распыления почвы.

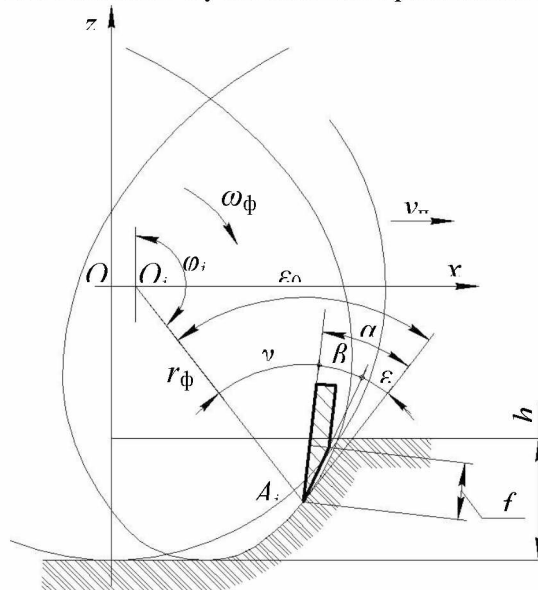


Рис. 1. Схема для определения угла резания

Для аналитического определения минимального угла установки ножа можно применить формулу, предложенную профессором А. И. Лещанкиным [6]:

$$\gamma = \arccos \frac{\lambda f (\lambda - 2 \sin \varphi) + 2 r_{\varphi} \cos \sqrt{1 + \lambda^2 - 2 \lambda \sin \varphi}}{2 r_{\varphi} (1 + \lambda^2 - 2 \lambda \sin \varphi)} - \beta. \quad (2)$$

где r_{φ} – радиус фрезбарабана, м; β – угол заточки лезвия ножа, град.

Исследуя вопрос определения угла резания В. Н. Борисов [3] предлагает условие, выполнение которого гарантирует отсутствие возникновения явления смятия почвы затылочной частью ножа:

$$90^\circ - \alpha - \gamma > 0. \quad (3)$$

Полученное им условие (3) имеет практическую ценность не только для анализа эффективности работы существующих почвообрабатывающих фрез, но и при проектировании новых машин с учетом определенных заданных условий.

Практическое использование условия (3) подразумевает предварительное определение углов начала φ_1 и конца φ_2 резания ножом почвенной стружки (рис. 2).

Значение углов φ_1 и φ_2 будут в этом случае определяться зависимостями:

$$\varphi_1 = \arcsin\left(1 - \frac{h}{r_\phi}\right) + 90^\circ; \tag{4}$$

$$\varphi_2 \approx \arcsin\frac{S}{2r_\phi} + 180^\circ, \tag{5}$$

где h – глубина фрезерования почвы, м; S – подача на один нож, м.

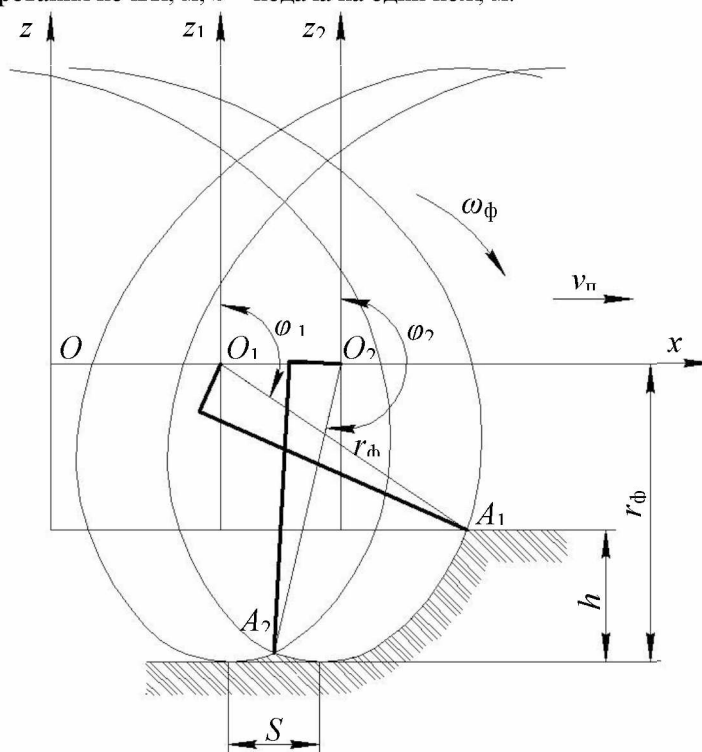


Рис. 2. Схема для определения углов начала и конца резания почвы

Величина угла резания α минимальна при встрече лезвия ножа с поверхностью почвы и максимальна при выходе из зоны, контакта с почвой. Это приводит к значительному разбрасыванию обработанной почвы и повышению расхода энергии, а иногда и к выталкиванию фрезбарабана из почвы.

Проведенный нами, при помощи расчетных зависимостей (1) – (5) для фрезерного мотокультиватора, расчет и анализ изменения угла резания с учетом глубины фрезерования равной 0,12 м на допустимых режимах работы ограничивающихся агротехническими требованиями [4] и особенностями требованиями безопасности [7], показывают, что расчетные значения этого угла в момент начала и конца отрезания стружки остаются меньше допустимого $[\alpha] = 29^\circ$. То есть, при скорости движения фрезы равной 1 км/ч значение углов начала и конца резания стружки соответственно равны $\alpha_{11} = 23,2^\circ$ и $\alpha_{21} = 25,7^\circ$, а при скорости 4 км/ч – $\alpha_{14} = 17,3^\circ$ и $\alpha_{24} = 27,5^\circ$. Изменение угла резания от угла поворота фрезбарабана фрезы фрезерного мотокультиватора представлен на рис. 3.

Все это свидетельствует о том, что при возможной эксплуатации данной машины в диапазоне скоростей от 1 до 4 км/ч смятие почвы затылочной частью ножей происходить не будет.

Таким образом, проведенный анализ изменения угла резания почвы для конкретных условий эксплуатации фрезерного мотокультиватора позволяет исключить возникновение смятия почвы затылочной частью ножа, что в свою очередь позволяет изыскивать конструкторские решения по обеспечению необходимых значений подачи на нож и поступательной скорости машины в диапазоне от 1 до 4 км/ч.

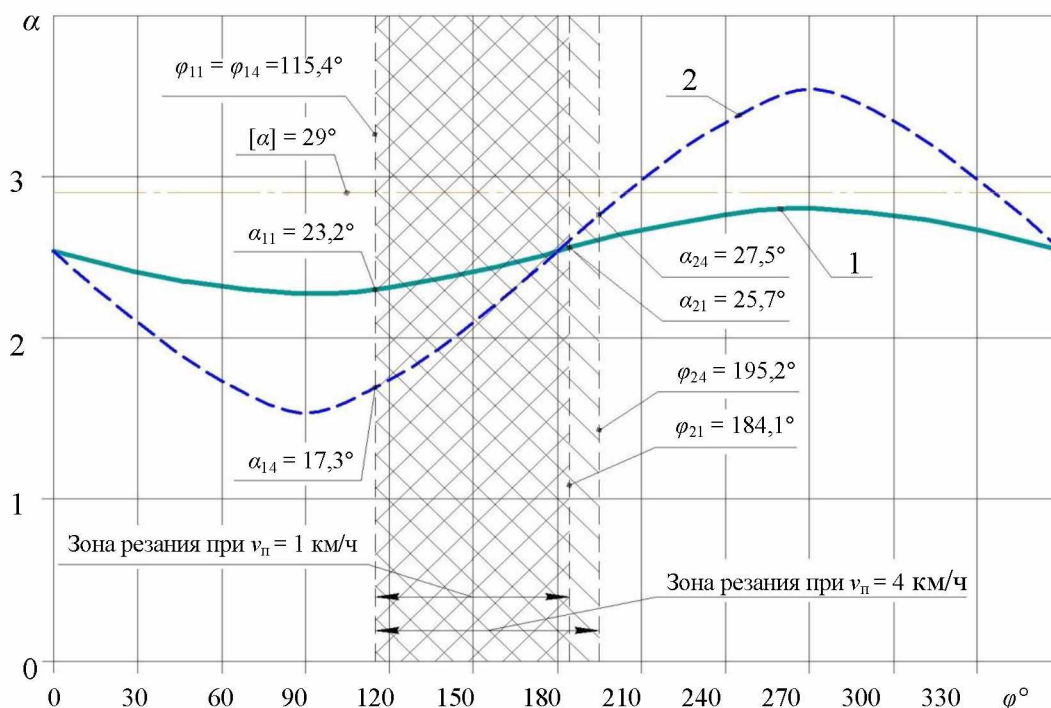


Рис. 3. Изменение угла резания α от угла поворота фрезерабара φ : 1 – при скорости движения $v_n = 1$ км/ч; 2 – при скорости движения $v_n = 4$ км/ч

Литература

1. Чаткин М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 316 с.
2. Купряшкин В. Ф. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы оптимизацией конструктивно-технологических параметров (на примере фрезы ФС-0,85): автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Ф. Купряшкин. – Саранск., 2011. – 20 с.
3. Борисов В. Н. Исследование динамических характеристик и режимов работы почвообрабатывающих фрез : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Борисов. – Киев, 1969. – 27 с.
4. Купряшкин В.Ф., Наумкин Н.И., Князьков А.С. Теоретические основы проектирования почвообрабатывающих фрез с изменяемым углом резания. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 115 с.
5. Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
6. Лещанкин А. И. Исследование ножей с винтовой рабочей поверхностью фрезерных культиваторов : дис. ... канд. техн. наук / А. И. Лещанкин. – Саранск, 1971. – 170 с.
7. ГОСТ 12.2.140–2004. Тракторы малогабаритные. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 12 с.

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ, НА ПРИМЕРЕ ЛОПАТОК ТУРБИН ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.А. Бекаревич НИТУ МИСиС г. Москва, А.Г. Чумаков, ФГУП ММП «Салют»

Одной из задач теплового контроля является идентификация вида дефектов и оценка порога принятия решения о допуске изделия в эксплуатацию. При этом решение задачи оценки надежности по результатам неразрушающего контроля не реализовано для лопаток турбин при достаточно высоком уровне доверительной вероятности.

Лопатки турбин являются одними из наиболее сложных и ответственных деталей газотурбинного двигателя (ГТД). Они работают в условиях высоких температур и нагрузок. От надежности лопаток турбин во многом зависят ресурс и экономичность ГТД в эксплуатации. В свою очередь надежность лопаток определяется качеством их изготовления и контроля.

Существующие методы контроля производства и эксплуатации лопаток турбин высокого давления (ТВД) - метод вихревых токов, рентгеновский метод и др., дают лишь косвенную информацию об особенностях тепловых режимов работы лопаток и не позволяют делать вывод об эффективности системы их охлаждения. Тепловой метод контроля позволяет непосредственно оценивать как качество охлаждения лопаток, так и оценивать величину возможного перегрева. В перспективе это позволит определять и ресурс работы лопатки.

Трудности диагностики системы охлаждения лопатки тепловым методом обусловлены конструкцией лопатки, внутренние каналы которой имеют малые геометрические размеры и сложную форму проточной части. При этом высокая теплопроводность материала лопатки приводит к быстрому растеканию тепла и сильному выравниванию температуры на ее поверхности. Кроме того, неоднородность коэффициента излучения поверхности лопатки вызывает существенные артефакты, которые могут превышать эффект от реального температурного перепада. Для решения этих проблем идут по пути интенсификации теплообмена и повышении быстродействия контроля. При этом возникает нестационарный режим, в течение которого проявляются особенности внутренней структуры лопаток. Тем не менее, использование сравнительно недорогих тепловизоров и регулярного режима теплообмена также позволяет получить интегральные оценки качества охлаждения лопатки в различных зонах. Для этого необходимо использование специальных алгоритмов обработки, которые позволят отфильтровать артефакты и выявить слабо охлаждаемые зоны в рамках регулярного режима.

В связи с актуальностью существующей проблемы на предприятиях ФГУП «ММПП «САЛЮТ» и НИТУ МИСиС была разработана методика теплового контроля турбинных лопаток, реализующий её пакет программ совместно с базой данных, а также спроектирована и изготовлена автоматизированная установка АСТКЛ, в настоящее время применяемая в производстве.

Сущность разработанной методики заключается в предварительном нагреве лопатки с последующим ее охлаждением сжатым воздухом, продуваемым через внутренние каналы. Процесс охлаждения фиксируется с помощью тепловизора и результаты измерения поля температур обрабатываются по оригинальному алгоритму. Полученные результаты сравнивают с эталонными и на основании сравнения делается вывод о наличии дефектов. Кроме того дается оценка пригодности лопатки для использования.

Использование дополнительных специальных методик позволяет на основании полученных результатов при тепловой дефектоскопии лопатки оценить поле температур лопатки при ее работе в составе ГТД.

В основу метода тепловизионного контроля эффективности охлаждения рабочих лопаток турбины положен метод регулярного теплового режима, широко используемый при исследованиях нестационарных процессов теплообмена.

При охлаждении тела в среде с постоянной температурой изменение во времени избыточной температуры тела в любой его точке начиная с некоторого момента времени может быть описано уравнением

$$t_i - t_o = (t_{i0} - t_o) e^{-m(\tau_i - \tau_o)} \quad (1)$$

где t_i – текущее значение температуры в i -той точке;

t_o - температура охлаждающего воздуха;

t_{i0} – начальная температура в i -той точке;

$\tau_i - \tau_o$ – интервал времени охлаждения между начальной температурой τ_i и температурой τ_{i0} ;

m – темп охлаждения.

Наступление регулярного режима охлаждения характеризуется постоянным значением темпа охлаждения m в процессе охлаждения или нагрева и определяется из уравнения (1) его логарифмированием, а именно

$$m = -\frac{\ln(t_i - t_o) - \ln(t_{i0} - t_o)}{\tau_i - \tau_o} \quad (2)$$

С другой стороны, согласно теории регулярного режима темп охлаждения определяется формулой

$$m = \Psi \frac{F}{V\gamma} \alpha, \quad (3)$$

где Ψ - коэффициент пропорциональности, означающий отношение средней температуры поверхности к средней температуре в объеме тела;

F - площадь охлаждаемой поверхности;

γ - удельный вес;

c - теплоёмкость тела;
 α - коэффициент теплоотдачи.

В соответствии с разработанной в лаборатории тепловидения методикой тепловизионные испытания лопаток проводятся на переменном расходе воздуха. Исходя из анализа условий эксперимента поперечные тепловые потоки оказываются значительно выше продольных. Это позволяет пренебречь растеканием тепла параллельно поверхности лопатки в условиях регулярного режима, и использовать уравнение (3) локально. При этом рассчитывается производная от темпа по расходу:

$$\frac{dm}{dG_{\text{охл}}} = \frac{d\left(\psi \frac{F}{vc\gamma} - \alpha\right)}{dG_{\text{охл}}}, \text{ или } \frac{dm}{dG_{\text{охл}}} = C\left(\psi \frac{d\alpha}{dG_{\text{охл}}} + \alpha \frac{d\psi}{dG_{\text{охл}}}\right), \quad (4)$$

где: $C = \frac{F}{vc\gamma}$ - является конструктивной характеристикой лопатки ТВД

для каждого локального участка. В частном случае – соответствующего одному пикселю на кадрах термофильма.

В принятых приближениях коэффициент ψ определяется локальными особенностями лопатки и практически не зависит от расхода. Поэтому вторым слагаемым в (4) можно пренебречь. В то же время первое зависит как от конструктивных особенности локальной области ($C\psi$), так и от качества охлаждения ($d\alpha/dG_{\text{охл}}$).

Потому предложенный параметр позволяет анализировать качество охлаждения лопатки и принимать решение о пригодности лопатки к эксплуатации по полученным данным на основании сравнения с эталонными данными. В случае частичной, или полной закупорки канала величина производной от темпа температуры по расходу воздуха для пикселей, соответствующих этому каналу, будет отличаться от эталонных величин. Аналогичным образом проявляют себя и локальные участки с ухудшенной теплопроводностью.

Оценка качества внутреннего охлаждения лопаток турбин, в частности, для выявления дефектов, вызванных наличием посторонних включений во внутренних полостях, налетами на стенках каналов охлаждения, перераспределением расхода воздуха в каналах, либо другими причинами, осуществляется автоматизированной установкой для инфракрасной диагностики охлаждаемых лопаток турбин (АСТКЛ). В состав установки входят: стенд, компрессорный модуль, тепловизор и компьютер для управления установкой и обработкой получаемых результатов.

Получаемые при проведении испытаний лопаток данные позволяют прогнозировать тепловое состояние лопатки при ее работе в составе ГТД. Прогноз теплового состояния основан на сравнении реального распределения коэффициента качества внутреннего охлаждения с распределением, полученным для эталона. Кроме того предварительно проводится тепловой расчет для конкретной конструкции лопатки, результатом которого является распределение коэффициентов, связывающих результаты теплового расчета и результаты испытаний лопатки.



Рисунок.1. Автоматизированная установка для инфракрасной диагностики охлаждаемых лопаток турбин (АСТКЛ)

Лопатка № 1Е9026
 Неохлаждаемых зон 13,17%
 Эталон 1
 Критерий отбора 0,50
 Перепад на шум 7,00 °С
 Т рамки 166,00 °С
 Т продувки 35,00 °С
 Р начальное 4,21 кг/см²
 Р конечное 2,74 кг/см²
 Сглаживание есть

Градации качества охлаждения:
 ■ <0,25
 ■ 0,25-0,5
 ■ 0,5-0,75
 ■ >0,75



Рис.2. Диаграмма распределения коэффициента качества охлаждения при засорении канала охлаждения в верхней части лопатки со стороны корытца лопатки.

Описанная методика реализована пакетом программ, позволяющим рассчитать поле максимальных отклонений прогнозируемых температур на поверхности лопатки при ее эксплуатации от расчетных величин. На основании значений возможного перегрева при работе лопатки в составе ГТД может быть принято решение о ее пригодности.

Литература

1. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Диагностика безопасности. Тепловой контроль. Под общей редакцией академика РАН Клюева В.В. - М.: Издательский дом Спектр, 2011, 171С.
2. Кулиниченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – К.: Тэхника, 1990. – 165с.
3. Определение эффективности охлаждения лопаток с помощью тепловидения. Тяжелое машиностроение. 1991.№2.
4. Копелев С.З., Слитенко А.Ф. Конструкция и расчет систем охлаждения ГТД. – Харьков: «Основа», 1994.-240с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Бекаревич А.А. НИТУ МИСиС г. Москва, Морозова Т.Ю. МГУПИ г. Москва

Разработан алгоритм создания правил логического вывода, необходимых для принятия решений об опасности дефекта на основе использования формального концептуального анализа.

Определение 1. *Контекст* – это тройка (Y, X, F) , которая состоит из множества объектов (признаков дефекта) Y , множества атрибутов (дефекта) X и бинарных отношений $F \subseteq Y \times X$ между объектами и атрибутами.

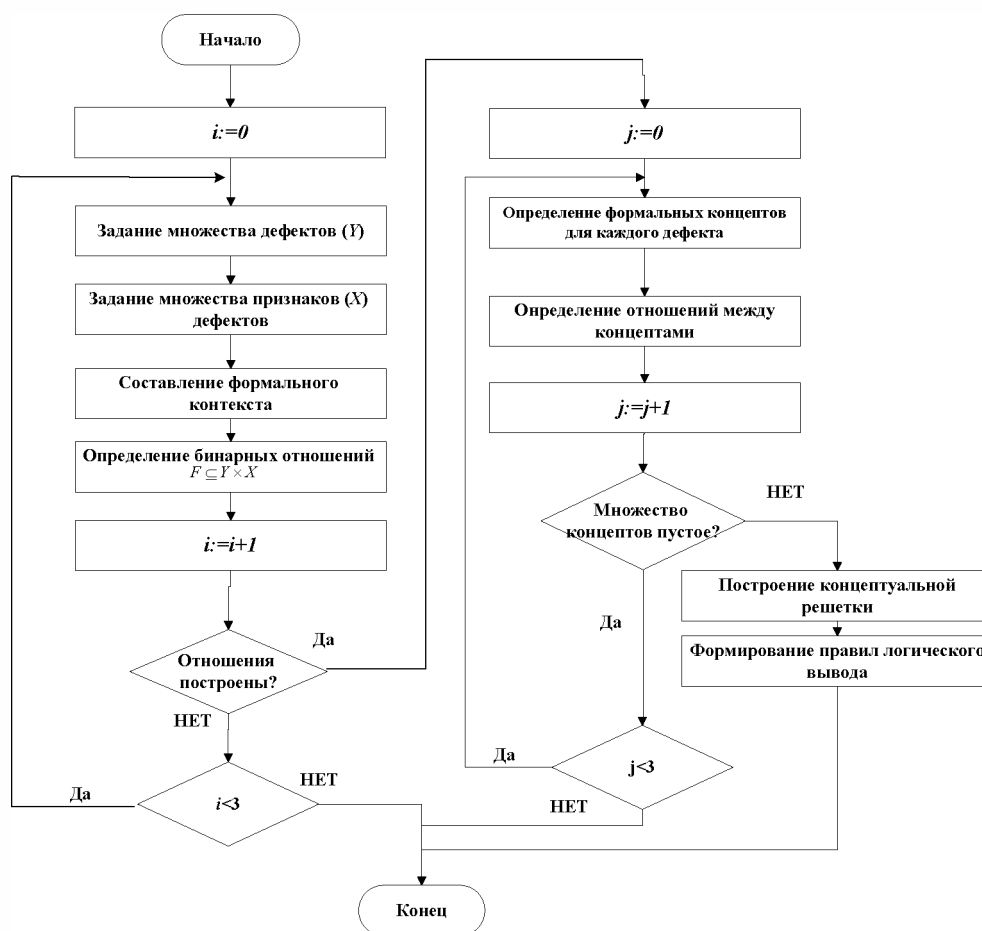


Рис. 1. Блок-схема алгоритма создания правил логического вывода для определения дефектов

Контекст имеет вид таблицы, в которой строки представляют собой объекты, а столбцы – атрибуты.

Определение 2. Под *концептом* (A, N) понимается пара объекта $A \subseteq Y$ и атрибута $N \subseteq X$, которые удовлетворяют определенным условиям.

Все объекты концепта содержат все его атрибуты.

Множество всех формальных концептов образуют *концептуальную решетку*.

Блок-схема разработанного алгоритма создания правил логического вывода для определения дефекта приведена на рисунке 1. Данный алгоритм относится к методам интеллектуального анализа данных.

Построенная концептуальная решетка по алгоритму (рис. 1), позволяет определить все свойства, которыми обладает тот или иной дефект. Каждый узел решетки соответствует концепту.

Предложенный алгоритм был использован для решения практической задачи выявления дефектов по спектру напряженного состояния. Максимальное количество не взаимодействующих между собой определяемых дефектов – восемь. Для создания правил логического вывода при идентификации дефекта составлена матрица контекста, в строках которой записаны идентифицируемые дефекты, а в столбцах – признаки данных дефектов. Признаками являются количество и положение пиков снижения интенсивности спектра напряженного состояния, полосы частот, место положение полос в спектре, ширина и форма полос спектра. Всего определено восемь признаков для идентификации дефектов. Контекст для установления логических правил определения дефектов таблице 1.

Таблица 1. Пример контекста формирования логических правил.

Атрибуты		Объекты							
		При частоте 900 1150 см ⁻¹ наличие 2х полос поглощения	При частоте 1200..1250 см ⁻¹ снижение интенсивности спектра от 1 до 0,85 отн. ед.	При частоте 950..1150 см ⁻¹ снижение интенсивности от 1 до 0,1 отн. ед.	При частоте 700...750 см ⁻¹ снижение интенсивности спектра от 1 до 0,75 отн. ед.	При частоте 950..1150 см ⁻¹ ширина полосы поглощения составляет 200 см ⁻¹	Наличие дребезга в спектре	При частоте 800...950 см ⁻¹ снижение интенсивности спектра от 1 до 0,8 отн. ед.	При частоте 1300...1350 см ⁻¹ снижение интенсивности спектра от 1 до 0,9 отн. ед.
М	М	1	2	3	4	5	6	7	8
Э	Э		+	+	+	+	+	+	+
А	А	+		+			+	+	+
Д	Д	+		+				+	

На основе контекста, представленного таблицей 1, построена формальная концептуальная решетка, для создания правил логического вывода (рис. 2).

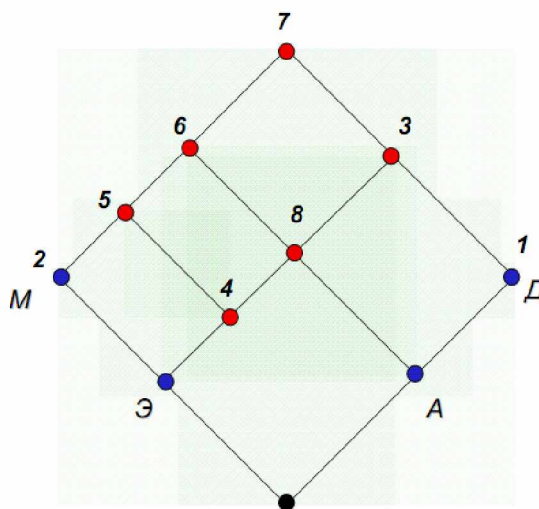


Рис. 2. Концептуальная решетка на примере четырех дефектов, для формирования логических правил идентификации дефектов

На основе алгоритма (рис. 1) для четырех дефектов разработаны соответствующие правила логического вывода определения дефектов.

Логические правила состоят из фактов и допущений.

Фрагмент правил логического вывода выглядит следующим образом:

число_полос_поглощения_в_спектре (1) \wedge ММ \vdash М;

величина_поглощения (0,45) \wedge МД \vdash Д;

Д \vdash \neg М;

Д \wedge МЭ \vdash Э;

Положение_полосы_поглощения(924см⁻¹) \vdash А;

А \vdash \neg Э;

Неизвестно_число_полос_поглощения \vdash \neg М;

Дребезг_в_спектре \vdash \neg Д.

Разработана экспертно-информационная система, которая определена схемой, представленной на рисунке 3. Данная система включает следующие блоки: администратор диалога и решатель задач, который состоит из подсистем: процессора логического вывода, базы знаний, системы поддержки рассуждений (СПР).

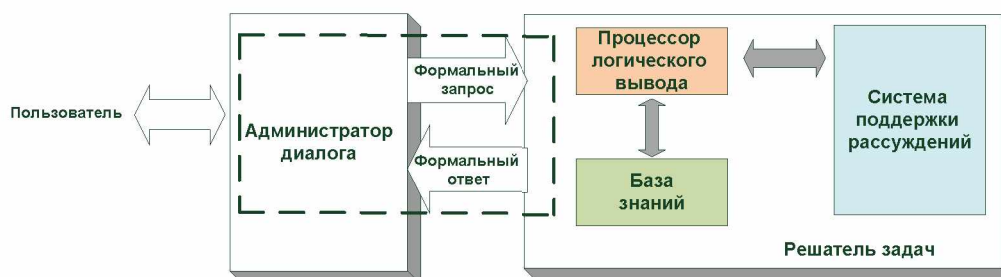


Рис. 3. Схема экспертно-информационной системы в составе информационно-вычислительного комплекса на основе логического формализма модифицированных рассуждений

Определение дефектов представляет собой итерационный процесс. В ходе мониторинга формируется дополнительная информация в виде модифицируемых рассуждений.

Доказано, что процесс рассуждений определения дефектов, является немонотонным процессом. В связи с этим, предложен следующий общий алгоритм функционирования экспертно-информационной системы, построенной на немонотонном процессе вывода:

Шаг 1. Формирование фактов и правил в базе знаний (проводится экспертом).

Шаг 2. Из множества правил логического вывода находится правило, содержащее целевое утверждение (осуществляется решателем задач).

Шаг 3. Сопоставление найденного правила с имеющимися фактами (осуществляется решателем задач).

Шаг 4. Если образец правила при сопоставлении совпал с какими-либо фактами, то осуществляется выполнение этого правила (логический вывод) (осуществляется решателем задач).

Шаг 5. Сохранение осуществленного вывода (фактов и правил) в специальной области (система поддержки рассуждений).

Шаг 6. Если логический вывод противоречит некоторым фактам и заключениям, то выполняется сохранение в специальной области этих фактов и правил, а так же удаление их из базы знаний (система поддержки рассуждений).

Шаг 7. Если достигнут конец множества правил логического вывода, то переход к шагу 8, иначе переход к шагу 2.

Шаг 8. Завершение работы.

Предложенный алгоритм функционирования экспертно-информационной системы немонотонного вывода требует наличия специальной области, в которой хранится предыдущий вывод. В связи с этим, предложено использовать систему поддержки рассуждений (СПР), которая реализуется в экспертно-информационной системе (рис. 3). Процессор логического вывода информирует СПР от каких данных зависит вывод, т.е. какие посылки и правила были использованы. Значимый (непротиворечивый) вывод, передается в СПР, как обоснование в форме хорновских фраз (дизъюнктов). Вывод противоречия говорит о несовместности предположений, в рамках которых сделан вывод. Таким образом, СПР используется для защиты логической целостности и непротиворечивости заключений в экспертно-информационной системе, построенной на немонотонном логическом выводе.

Взаимодействие между процессором логического вывода и СПР представлено на рисунке 4.

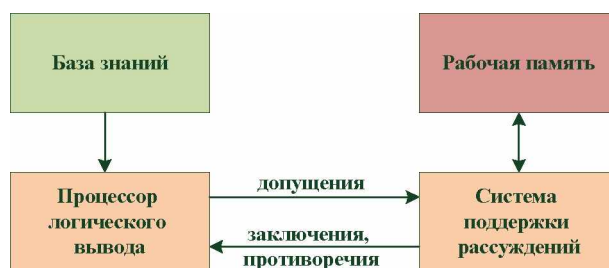


Рис. 4. Взаимодействие процессора логического вывода и СПР

Управление дедуктивной совместимостью фактов в СПР представлено в графической форме, показанной на рисунке 5.

Каждый факт в СПР представлен в виде узла. Зависимость заключения от фактов изображается в виде логического вентиля (рис. 5). Совокупность логических вентилях образует сеть обоснований.

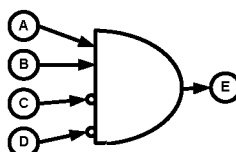


Рис. 5. Представление зависимости в виде логического вентиля

Узел может находиться в одном из двух состояний: ВНУТРИ, если узел является состоятельным (непротиворечивым) заключением на основе осуществленных выводов, и ВНЕ, если узел не является состоятельным выводом на основе осуществленных ранее выводов. Если узел не имеет зависимости, то он всегда находится в состоянии ВНЕ.

В данной главе введены следующие определения для зависимостей, представленных на рисунке 5.

Определение 3. Зависимость называется *значимой*, если ее монотонные поддержки находятся в состоянии ВНУТРИ и все немонотонные поддержки находятся в состоянии ВНЕ.

Определение 4. Зависимость называется *незначимой*, если хотя бы одна из ее монотонных поддержек находится в состоянии ВНУТРИ.

Зависимость заключения от фактов (рис. 5) имеет следующее значение: если $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots, A_n\}$ и $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_m\}$ — теоремы (т.е. если их узлы находятся в состоянии ВНУТРИ), то E — теорема.

C и D не являются теоремами, их узлы находятся в состоянии ВНЕ.

Узлы A и B названы в диссертации *монотонными* поддержками, а узлы C и D — *немонотонными*.

Зависимость, изображенная на рисунке 6 выполняет следующее правило:

$$A \wedge B \wedge (M - C) \wedge (M - D) \vdash E.$$

В диссертации показано, что узел может быть связан с несколькими зависимостями, т.е. несколько логических вентилях могут связываться с узлом.

Определена мера опасности дефекта на основе теории искусственных нейронных сетей.

Методы количественного дефекта основаны на построении зависимости между интенсивностью спектра и его концентрацией. На основе регистрации партии спектров с известной опасностью устанавливается зависимость между спектром и опасностью дефекта для сложного объекта.

Задача определения опасности дефекта по данным спектра сформулирована как задача аппроксимации функции многих переменных.

Нейронная сеть представлена как совокупность простых элементов (нейронов), связанных друг с другом.

Для решения задачи установления опасности дефекта по данным спектра предложена многослойная полносвязная нейронная сеть (рис. 6):

- 1 слой состоит из значений $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ спектра напряженного состояния;
- 2 слой является промежуточным слоем, для повышения точности установления функциональной зависимости между спектром и опасностью дефекта;
- 3 слой состоит из значения Y — опасности дефекта.

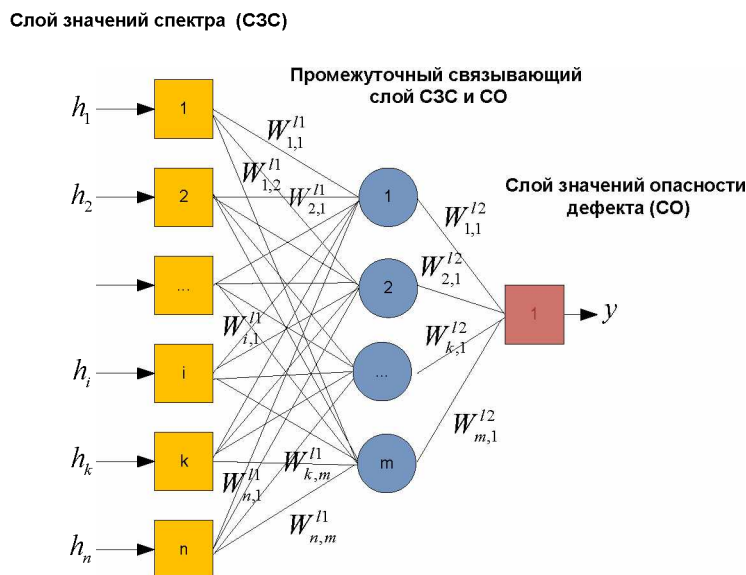


Рис. 6. Структура трехслойной нейронной сети, используемая для установления опасности дефекта по данным спектра

Каждый слой связан следующими весами:

$W_{i,j}^{11}$ — синаптический вес между слоем СЗС и промежуточным слоем;

$W_{k,1}^{12}$ — синаптический вес между промежуточным и слоем СО.

Обучение нейронной сети основано на обучении с учителем, заключающееся в том, что каждому входному вектору значений спектра $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ ставится в соответствие выходная величина y — опасность дефекта.

Обучение с учителем определено как поиск коэффициентов $W_{i,j}^{11}$ и $W_{k,1}^{12}$ нейронной сети, при которых будет выполняться необходимое отображение входных векторов $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ значений спектра в выходное y — опасности дефекта. Это достигается путем минимизации суммы разности квадратов между желаемым и получаемым выходами нейронной сетью:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y(W, H_i) - d_i)^2 \rightarrow \min,$$

где m — количество обучающих примеров; d_i — желаемый выход нейрона для i -го обучающего примера ($i \in [1; m]$); W — матрица весовых коэффициентов нейронной сети; H_i — i -ый обучающий пример.

Разработан пошаговый алгоритм редукции сети с учетом конкуренции связей нейронов между собой:

Шаг 1. Задание исходных значений для каждого элемента (нейрона).

Шаг 2. Ввод значений синаптических весовых коэффициентов $W_{i,j}$ — степень связи, с которой i -ый нейрон связан с j -ым нейроном следующего слоя.

Шаг 3. Вычисление значений каждого нейрона по формулам:

$$g_i = \frac{S_i}{K}, \tag{1}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_{i,j}^{11} x_j, \tag{2}$$

где S_i — сумма произведений всех синаптических весов i -ого нейрона на значение соответствующего этому весу j -ого нейрона следующего слоя, g_i — величина i -ого элемента следующего слоя, K — коэффициент, который используется для обновления значений нейронов предыдущего слоя; x_j — величина j — го элемента следующего слоя.

Шаг 4. Обновление значений синаптических весов:

$$W_{i,j}^n = \frac{W_{i,j}^{n-1}}{(1 - x_i x_j) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_{i,j}^{n-1})^2}}$$

где $W_{i,j}^{n-1}$ – значения синаптических весов предыдущей итерации.

Шаг 5. Сокращение количества конкурируемых между собой нейронов. Если $W_{i,j} \leq 0,001$, то $W_{i,j} = 0$.

Шаг 6. Вычисление обновленных значений по формулам (1) и (2).

Шаг 7. Исследование значений нейронов на противоречие в конкуренции:

$$I_i = \sum_{k=1}^n W_{i,k}^n \cdot x_k, \quad k \neq i, \quad I_i \geq 0,$$

где $W_{i,k}^n = W_{i,k}^{n-1} - \Delta_{i,k}$ – обновление значения $W_{i,k}^n$, $W_{i,k}^{n-1}$ – значение $W_{i,k}^n$ на предыдущей итерации, $\Delta_{i,k} = x_i - x_k$.

Шаг 8. Вычисление новых значения нейронов с учетом противоречия в конкуренции:

$$g_i = \frac{S_i}{K + I_i}$$

Шаг 9. Если значения нейронов не превышают установленного порога, то окончание алгоритма, иначе переход к шагу 4.

Алгоритм является итерационным. Он используется для установления конкурентных связей в нейронной сети (рис. 7).

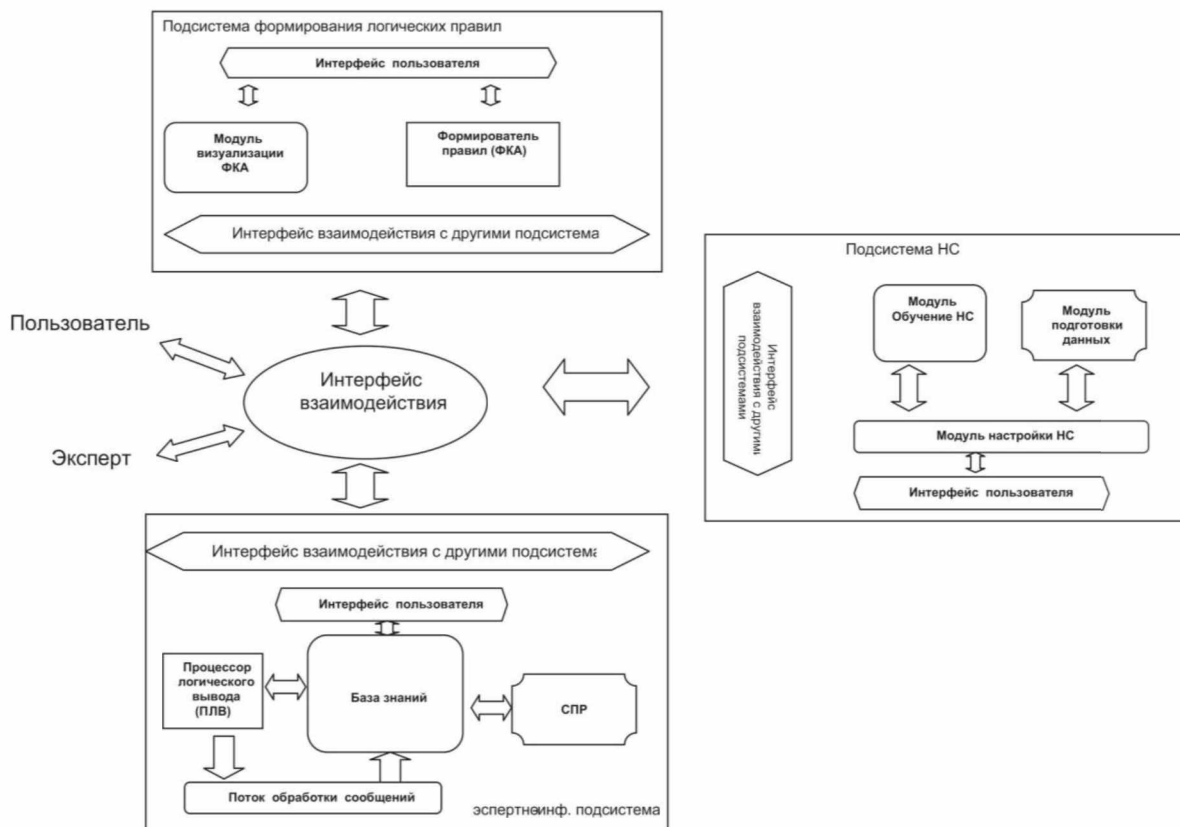


Рис. 8. Архитектура информационно-вычислительного комплекса

Разработан информационно-вычислительный комплекс предназначен для автоматизации принятия решений о наличии дефекта в сложном техническом объекте и его опасности. Информационно-вычислительный комплекс позволяет автоматизировать выполнение следующих задач:

- представление данных;
- идентификация дефекта с использованием логического формализма модифицированных рассуждений;
- определение опасности дефекта с помощью искусственных нейронных сетей;
- обучение и настройка нейронной сети;
- визуализация результатов.

Разработана система различных меню, многопользовательский интерфейс, набор управляющих элементов.

Архитектура информационно-вычислительного комплекса приведена на рисунке 8.

Данный информационно-вычислительный комплекс работает под управлением операционных систем семейства Windows.

Проектирование информационно-вычислительного комплекса интеллектуальной поддержки принятия решений осуществлялось на базе объектно-ориентированных технологий.

РАСПОЗНАВАНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИХ ФОРМЫ

Бекаревич А.А.

Национальный исследовательский технологический университет МИСиС г. Москва

В докладе рассматриваются основные принципы и методы распознавания малоразмерных дефектов при априорной неопределенности их формы с использованием комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля.

Повышение эксплуатационной надежности современных материалов и конструкций невозможно без диагностики их качества на основе неразрушающего контроля [1-4]. При этом одной из важных проблем является обнаружение малоразмерных дефектов типа нарушений сплошности.

В докладе рассматривается способ обнаружения малоразмерных дефектов при априорной неопределенности их формы на основе многомерного аналога способа самонастраивающейся фильтрации [5 -10] с учетом комплексирования методов неразрушающего контроля, который обуславливает необходимость использования системного анализа при обработке и интерпретации данных.

В последнее время появляется все больше публикаций, свидетельствующих о тенденции комплексирования методов НК для обеспечения необходимой достоверности и информативности результатов контроля, например [1, 4-7, 12].

Общий недостаток предлагаемых работ заключается в обосновании эффективности обнаружения малоразмерных дефектов в т.ч. на совместной обработке данных и оптимизации режимов контроля.

Для решения задачи обнаружения дефектов могут применяться методы [7]: оценки эффекта телекопирования и построения многомерных аналогов способов обратных вероятностей, которые были рассмотрены в [12]. Однако их можно использовать при наличии априорной информации о форме дефекта. При отсутствии информации о форме дефекта используется способ самонастраивающейся фильтрации.

Система неразрушающего контроля должна включать комплексную обработку результатов контроля методами на основе использования различных физических полей (например, теплового $T(x, y, z, t)$, радиоволнового $U_p(x, y, z, t)$, ультразвукового $U_{yz}(x, y, z, t)$ и др. 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 с целью определения векторных параметров \vec{d} аномалий или дефектов $F_{def}(\vec{d})$

$$f(T(x, y, z, t), U_p(x, y, z, t), U_{yz}(x, y, z, t), \dots) \rightarrow F_{def}(\vec{d})|_{t=t_0} \quad (1)$$

Комплексирование устройств НК можно классифицировать на следующие виды:

- по информации на входе устройств;
- по информации на выходе устройств.

В многомерном аналоге способа самонастраивающейся фильтрации, как и в одномерном варианте, рассматривается «скользящее окно» размером m точек (определяет число столбцов в матрице сигналов) и N профилей (число строк). При различных наклонах окна по отношению к направлению профилей проверяется гипотеза H_0 о равенстве нулю средних значений сигналов в столбцах «окна» (гипотеза об отсутствии

аномалии). Однако наблюдаемые значения в «окне» в этом случае представляют уже не измеренные значения одного поля, а векторы измерений размерности L , где L – число одновременно обрабатываемых полей или уровней.

При отсутствии аномалии или дефекта модель поля представляется в каждой точке наблюдения помехой с многомерным нормальным распределением с нулевым вектором среднего значения и ковариационной матрицей D , а при наличии аномалии – суммой сигналов от аномалии и многомерной помехи.

На основе использования статистики следа матрицы T^2 можно принять решение, равны ли векторы средних во всех столбцах окна нулевому вектору (гипотеза H_0) или некоторые из них отличны от нулевого вектора (гипотеза H_1). В этом случае статистика [7]

$$T^2 = Sp(RG^{-1}), \tag{2}$$

где R и G^{-1} - матрицы случайных величин, имеющих распределение Уишарта.

Для многомерного аналога самонастраивающейся фильтрации оценкой матрицы R размерности $(m \cdot N \cdot L)(m \cdot N \cdot L)$ является

$$R = \sum N(Y_i Y_i'), \tag{3}$$

где Y_i - оценка вектора среднего в i -ом столбце «окна», т.е.

$$Y_1 = (1/N) \sum_{k=1}^N Y_{1k}, Y_2 = (1/N) \sum_{k=1}^N Y_{2k} \text{ и т.д.}$$

Такие оценки вычисляются по каждому полю, например, для двух полей

$$R = N \begin{pmatrix} y_{11} & y_{21} \\ y_{12} & y_{22} \\ \vdots & \vdots \\ y_{1m} & y_{2m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \end{pmatrix}$$

Матрица G размерности $(m \cdot N \cdot L)(m \cdot N \cdot L)$ определяется формулой

$$G = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{ik} - Y_i)(y_{ik} - Y_i)' = \sum_1^N (y_{1k} - Y_1)(y_{1k} - Y_1)' + \sum_1^N (y_{2k} - Y_2)(y_{2k} - Y_2)' + \dots + \sum_1^N (y_{mk} - Y_m)(y_{mk} - Y_m)' \tag{4}$$

Ковариационная матрица D связана с матрицей G соотношением

$$D = G / (mN - m), \tag{5}$$

где m – число столбцов в «окне» (число точек), N – число строк в «окне» (число профилей).

Статистика следа матрицы T^2 аппроксимируется статистикой Фишера F и обе статистики равны [7]

$$T^2 = F = [(mN - m - L + 1)/(m - 1)L] Sp(RG^{-1}) \tag{6}$$

При подстановке из (3) и (4) выражений для R и G в (6), получается статистика многомерного аналога самонастраивающейся фильтрации

$$F = [(mN - m - L + 1)/(m - 1)L(mN - m)] Sp(Y_i D^{-1} Y_i') = \{(mN - m - L + 1)/[(m - 1)L(mN - m)]\} \sum Y_i D^{-1} Y_i' \tag{7}$$

В случае выполнения гипотезы H_0 об отсутствии аномалии, статистика (7) приближенно распределена по закону Фишера со степенями свободы

$$g_1 = [(m - 1)L(mN - m - L)]/[mN - (m - 1)L - 2] \tag{8}$$

$$g_2 = mN - m - L + 1$$

Гипотеза о равенстве векторов средних в столбцах «окна» нулю отвергается, если $F > F_{g_1, g_2}$ при заданном уровне значимости α . При этом принимается решение о выполнении гипотезы H_1 , т.е. наличии аномалии в «окне».

Обработка данных комплекса полей, измеренных на разных уровнях при площадных измерениях, приводит к заметному усложнению вычислений. В этом случае матрица R будет произведением не двух обычных, а двух блочных матриц, количество блоков которых равно числу уровней наблюдения. Ковариационные матрицы G и D вместо простых блочных матриц, для которых число блоков равно числу полей L , будут матрицами матриц матриц (двойными блочными матрицами), где число одного уровня блоков равно числу полей L , а число другого уровня блоков определяется числом уровней наблюдения. Так же потребуется пересчет степеней свободы в формулах (6) – (8) для статистики Фишера.

Рассмотрим практическое применение описанного метода на примере обнаружения малоразмерных дефектов в конструкциях из полимерных композиционных материалов (ПКМ), хотя предлагаемый подход применим для любых материалов.

Под малоразмерным дефектом в рассматриваемом примере будем понимать дефект с минимальными возможными размерами в рассматриваемой конструкции.

На рис. 1, в качестве примера, приведено изображение формы турбинной лопатки. На рис. 2 в качестве примера, приведены фотографии одного из дефектов типа нарушения сплошности.

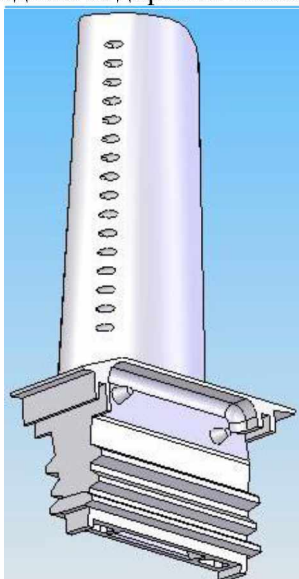


Рис. 1. изображение формы турбинной лопатки.

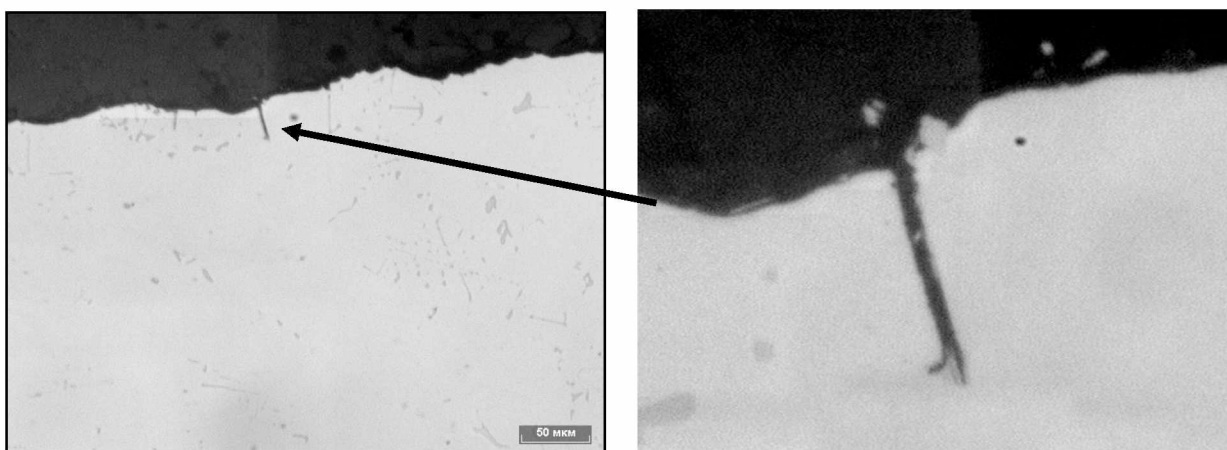


Рис. 2. Фотография дефекта в виде неслитины на пере со стороны спинки лопатки

Проблема определения минимального дефекта заключается в большом многообразии различных дефектов по конфигурации, площади, раскрытию, глубине залегания и т.п., а также комбинации указанных параметров.

Разработана методика определения минимального (малоразмерного) дефекта [2].

Эффективность многомерного аналога способа самонастраивающейся фильтрации можно проиллюстрировать примером. Пусть значение статистики Фишера для аномалии при использовании двух рассмотренных выше методов равно 2,4. Для одного поля при параметрах обработки: количестве точек $m = 5$, коли-

честве профилей $N = 7$, количестве полей (методов контроля) $L = 1$ порог принятия решения для статистики Фишера с вероятностью ошибки $\alpha = 5\%$ составляет 2,53 и аномалия не обнаруживается. При использовании двух полей при параметрах обработки $m = 5$, $N = 7$, $L = 2$ порог принятия решения для статистики Фишера с вероятностью ошибки $\alpha = 5\%$ составляет 2,22. В этом случае значение статистики превышает порог 2,22 и аномалия обнаруживается.

Вывод:

Рассмотрен метод выявления малоразмерных аномалий (дефектов) на основе метода самонастраиваемой фильтрации для комплекса одновременно наблюдаемых физических полей. Теоретические и экспериментальные исследования показали увеличение достоверности обнаружения слабых аномалий (дефектов).

Дополнительный экономический эффект дает комплексирование за счет отказа от создания специальной дорогой аппаратуры и использования существующей аппаратуры при увеличении надежности обнаружения аномалий.

Литература

1. Махутов Н.А., Гаденин М. Комплексный контроль. Диагностика материалов и конструкций на разных стадиях их жизненного цикла. – журн. «Технадзор», № 5, 2011, с.46-48.
2. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. - Москва, Наука, 2002, 476с.
3. Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Технология комплексного теплового неразрушающего контроля зданий и строительных сооружений. - Строительные материалы XXI века (материалы, оборудование, технологии) - №3(62), 2004, с.48-50.
4. L. Capineri, P. Falorni, S. Ivashov and etc. Combined Holographic Subsurface Radar and Infrared Thermography for Diagnosis of the Conditions of Historical Structures and Artworks. – Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-5343-2, 2009 EGU General Assembly, 2009.
5. RU 2177144, G01C15/00, E04G23/00, опубл. 28.04.2001г. Способ построения многопараметрических цифровых моделей строительных объектов, анализа и моделирования их состояния (варианты)/Алмазова Н.М., заявка 2001111567/28 от 28.04.2001г.
6. S. Yella, M.S. Dougherty and N.K.Gupta, Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing, Insight, Vol. 48, No 1, jan. 2006, pp. 10-19.
7. Кузнецов О.Л., Никитин А.А. Геоинформатика. - М.: Недра, 1992. – 302 с.
8. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ, пер. с англ., М., Физматгиз, 1963. – 500 с.
9. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения, пер. с англ., М., Наука, 1968. – 547 с.
10. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды, пер. с англ. - М., Наука, 1976 – 736 с.
11. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003 - 656 с.
12. Крайний В.И., Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Повышение надежности обнаружения дефектов сложных конструкций с помощью комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля. – Дефектоскопия. – 2012, № 2, с.54-63.

УДК:621.791.9:669.715

СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ИННОВАТИВНЫМ СПОСОБОМ EWM-COLDARC (ХОЛОДНАЯ СВАРКА)

Рыспаев Т.А., Белекова Ж.Ш., Орозбаев А.А.,Веслинг В.

WELDING OF ALUMINUM ALLOYS WITH INNOVATION PROCESS THE EWM-COLDARC

¹Belekova J., ¹Orozbaev A., ²Ryspaev T., ²Wesling V.

1 -Kyrgyz state technical university, Kyrgyzstan

2 - Clausthal university of technology, Germany

E-mail to: jyldyza.88@mail.ru

Проведены сравнительные исследования по наплавлению поверхности алюминиевых сплавов AW-AL-Mg4.5-Mn0,7 с двумя разными параметрами инновативного способа сварки в среде защитного газа, а именно новейшего метода сварки EWM-coldArc.

A comparative study on the weld surface of aluminum alloy AW-AL-Mg4.5-Mn0.7 with two different parameters of an innovative welding EWM-coldArc.

честве профилей $N = 7$, количестве полей (методов контроля) $L = 1$ порог принятия решения для статистики Фишера с вероятностью ошибки $\alpha = 5\%$ составляет 2,53 и аномалия не обнаруживается. При использовании двух полей при параметрах обработки $m = 5$, $N = 7$, $L = 2$ порог принятия решения для статистики Фишера с вероятностью ошибки $\alpha = 5\%$ составляет 2,22. В этом случае значение статистики превышает порог 2,22 и аномалия обнаруживается.

Вывод:

Рассмотрен метод выявления малоразмерных аномалий (дефектов) на основе метода самонастраивающейся фильтрации для комплекса одновременно наблюдаемых физических полей. Теоретические и экспериментальные исследования показали увеличение достоверности обнаружения слабых аномалий (дефектов).

Дополнительный экономический эффект дает комплексирование за счет отказа от создания специальной дорогой аппаратуры и использования существующей аппаратуры при увеличении надежности обнаружения аномалий.

Литература

1. Махутов Н.А., Гаденин М. Комплексный контроль. Диагностика материалов и конструкций на разных стадиях их жизненного цикла. – журн. «Технадзор», № 5, 2011, с.46-48.
2. Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий-Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий. - Москва, Наука, 2002, 476с.
3. Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Технология комплексного теплового неразрушающего контроля зданий и строительных сооружений. - Строительные материалы XXI века (материалы, оборудование, технологии) - №3(62), 2004, с.48-50.
4. L. Capineri, P. Falorni, S. Ivashov and etc. Combined Holographic Subsurface Radar and Infrared Thermography for Diagnosis of the Conditions of Historical Structures and Artworks. – Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-5343-2, 2009 EGU General Assembly, 2009.
5. RU 2177144, G01C15/00, E04G23/00, опубл. 28.04.2001г. Способ построения многопараметрических цифровых моделей строительных объектов, анализа и моделирования их состояния (варианты)/Алмазова Н.М., заявка 2001111567/28 от 28.04.2001г.
6. S. Yella, M.S. Dougherty and N.K.Gupta, Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing, Insight, Vol. 48, No 1, jan. 2006, pp. 10-19.
7. Кузнецов О.Л., Никитин А.А. Геоинформатика. - М.: Недра, 1992. – 302 с.
8. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ, пер. с англ., М., Физматгиз, 1963. – 500 с.
9. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения, пер. с англ., М., Наука, 1968. – 547 с.
10. Кендалл М. Дж., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды, пер. с англ. - М., Наука, 1976 – 736 с.
11. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003 - 656 с.
12. Крайний В.И., Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Повышение надежности обнаружения дефектов сложных конструкций с помощью комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля. – Дефектоскопия. – 2012, № 2, с.54-63.