

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЕФЕКТОВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ШПИЛЕК КРЕПЛЕНИЯ КРЫШЕК ТУРБИН ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ¹

Козлов Юрий Николаевич

*Инженер-механик, эксперт промышленной безопасности, программист-разработчик Microsoft Certified Solution Developer, автор патентов на полезные модели и изобретения в области ультразвукового контроля, Сибирский Государственный Аэрокосмический Университет (СибГАУ); Научный центр аэрокосмических технологий двойного назначения НЦ «СПЕКТР» г. Москва
yuriyuri@mail.ru*

COMPUTER DEFECT ANALYZER FOR ULTRASONIC FLAW DETECTION OF PINS FOR FIXING COVERS OF TURBINES OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS²

Yu. Kozlov

Summary: A computer defect analyzer for ultrasonic flaw detection of hazardous production facilities is considered on the example of control objects of large-sized shafts, studs, rods, axles, supports, bolts, trunnions, extensions, and other parts of HPP equipment. The computer defect analyzer is designed to calculate the areas of defects, set up devices for ultrasonic testing according to ARD and SKH diagrams. The main distinctive advantages of a computer defect analyzer are:

1. Geometric interpretation of all computer calculations of defect parameters, which for the first time allows the operator to visually control the calculations themselves, i.e. the calculation ceases to be a black box, which significantly reduces the number of errors compared to the «manual» calculation;

2. Significant simplification of calculations of defect parameters.

Automation: 1) calculations of instrument settings, 2) calculations of the size / area of defects, 3) evaluation of defects greatly increases productivity, reliability and, very importantly, the visibility of instrument settings, calculations of defects, evaluation of defects. Minimizes control errors associated with manual calculations of instrument settings and manual calculations of the size / area of defects and their subsequent evaluation greatly increases the productivity, reliability and quality of control. Promotes the use of remote control methods.

Automation and full visualization of defect calculations and their evaluation with animation of the algorithm of the process of setting up the monitoring equipment make the calculation operations visual, visually controlled and completely eliminates errors related to the human factor that often occur when performing complex calculation operations manually, which is extremely important (!), especially when monitoring hazardous production facilities.

Keywords: computer analyzer; control automation; control computerization; control visualization; artificial intelligence during control; control productivity improvement; control quality improvement; control reliability improvement; industrial safety; non-destructive testing.

Аннотация. Рассмотрен компьютерный анализатор дефектов для ультразвуковой дефектоскопии опасных производственных объектов на примере объектов контроля крупногабаритных валов, шпилек, штоков, осей, опор, болтов, цапф, удлинителей и др. деталей оборудования ГЭС. Компьютерный анализатор дефектов предназначен для расчета площадей дефектов, настройки приборов для ультразвукового контроля по ARD и SKH диаграммам. Главными отличительными преимуществами компьютерного анализатора дефектов являются:

1. Геометрическая интерпретация всех компьютерных расчетов параметров дефектов, что впервые предоставляет возможность оператору визуально контролировать сами расчеты, т.е. расчет перестает быть черным ящиком, что позволяет значительно сократить количество ошибок по сравнению в «ручным» расчетом;

2. Существенное облегчение расчетов параметров дефектов.

Автоматизация: 1) расчетов настройки приборов, 2) расчетов размеров/площади дефектов, 3) оценки дефектов многократно повышает производительность, надежность и, что очень важно, наглядность настройки приборов, расчетов дефектов, оценки дефектов. Минимизирует ошибки контроля, связанные с ручными расчетами настройки приборов и ручными расчетами размеров/площади дефектов и последующей их оценки многократно повышает производительность, надежность и качество контроля. Способствует применению дистанционных методов управления.

Автоматизация и полная визуализация расчетов дефектов и их оценки с мультипликацией алгоритма процесса настройки контролирующей аппаратуры делают расчетные операции наглядными, визуально контролируемыми и полностью исключают ошибки, связанные с человеческим фактором, которые часто возникают при выполнении сложных расчетных операций вручную, что исключительно важно (!), особенно при проведении контроля опасных производственных объектов.

Ключевые слова: компьютерный анализатор; автоматизация контроля; компьютеризация контроля; визуализация контроля; искусственный интеллект при контроле; повышение производительности контроля; повышение качества контроля; повышение надежности контроля; промышленная безопасность; неразрушающий контроль.

¹ Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2004611317. Компьютерный Анализатор Дефектов (КАД) [3]. Автор — Козлов Ю.Н.

² Certificate of registration of the computer program No. 2004611317. Computer Defect Analyzer (CAD) [3]. Author — Kozlov Yu.N.

Серьезная авария произошла на Нурекской ГЭС 9 июля 1983 года. Вероятной причиной аварии было названо отсутствие проведения ультразвуковой дефектоскопии шпилек крепления крышек турбин гидроэлектростанции.

«Выводы из той аварии сделаны не были, четкого указания на необходимость обязательного проведения ультразвукового контроля шпилек на всех крупных ГЭС сформулировано не было.» [2]

Аналогичная авария, со страшными разрушительными последствиями и человеческими жертвами произошла на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 г.

«Авария на гидроагрегате № 2 (разрушение конкретного технического устройства) произошла в момент срыва крышки турбины вследствие излома шпилек крепления крышки.» [1]

Компьютерный анализатор дефектов [3] предназначен для расчета площадей дефектов, настройки приборов для ультразвукового контроля по АРД и SKH диаграммам.

Главными отличительными преимуществами компьютерного анализатора дефектов являются:

1. Геометрическая интерпретация всех компьютерных расчетов параметров дефектов, что впервые предоставляет возможность оператору визуально контролировать сами расчеты, т.е. расчет перестает быть черным ящиком, что позволяет:

- значительно сократить количество ошибок на стадии ввода оператором входных данных и на стадии управления работой программы;
- проконтролировать ход расчета и «обоснованность» выходных данных;
- выявить случайные «алгоритмические» сбои в работе программы (что случается весьма редко, выявляется очень сложно, но всегда приводит к самым непредвиденным последствиям).

2. Существенное облегчение расчетов параметров дефектов.

На рисунке 1 и 2 приведены примеры расчетов площадей дефектов по АРД-диаграммам.

Входные данные для расчета: расстояние до дна, показание аттенюатора от дна, расстояние до дефекта, показание аттенюатора от дефекта.

Выходные данные: иллюстрация АРД-построений, площадь дефекта, оценка допустимости дефекта в соответствии с нормами оценки качества. На рисунке 1

приведен пример расчета для **допустимого дефекта**. На рисунке 2 приведен пример расчета (анализа) дефекта, в результате которого **дефект** оценен как **«недопустимый»**.

Расчет настройки аттенюатора прибора для контроля заданной глубины с помощью диаграммы SKH (Рис. 3)

Настройка производится по стандартному образцу N2.

Входные данные: предельная чувствительность контроля, глубина контроля, N_0 .

Выходные данные: количество децибел, на которое необходимо изменить чувствительность прибора, чтобы получить настроечную чувствительность прибора для заданной глубины контроля (Kdb).

На рисунке 4 приведен пример расчета площади дефекта по SKH-диаграмме.

Подробное описание расчета настройки УЗ аппаратуры по графикам диаграммы SKH (Рис. 3)

Настройку ультразвуковой аппаратуры производим по эталонному образцу СО-2, который имеет отражатель в форме цилиндрического отверстия диаметром 6 мм, Класс шероховатости поверхности образца соответствует классу шероховатости поверхности контролируемой детали (вала, шпильки, штока, оси, болта, винта, удлинителя и др.). Для работы используем преобразователь с частотой **2,5 МГц**.

Высота сигнала от отражателя (отверстия диаметром 6мм) в эталонном образце СО-2, при котором вершина сигнала от дефекта находится на средней горизонтальной линии экрана дефектоскопа и равна 38 (дБ)

Дефектоскоп нужно настроить на чувствительность 10 мм² для глубины контроля (расположения искомого дефектов) 90 мм.

Заданным значениям по диаграмме соответствует значение — 13.4 дБ.

Минус означает, что чувствительность аттенюатора нужно **увеличить** (на 13.4 дБ), и при этом N_x будет равно: $N_x = N_0 + Kdb = 38 - 13.4 = 24.6$ дБ.

Подробное описание расчета площади выявленного дефекта по графикам диаграммы SKH (Рис. 4)

Настройка ультразвуковой аппаратуры производится по стандартному эталону (образцу) СО-2.

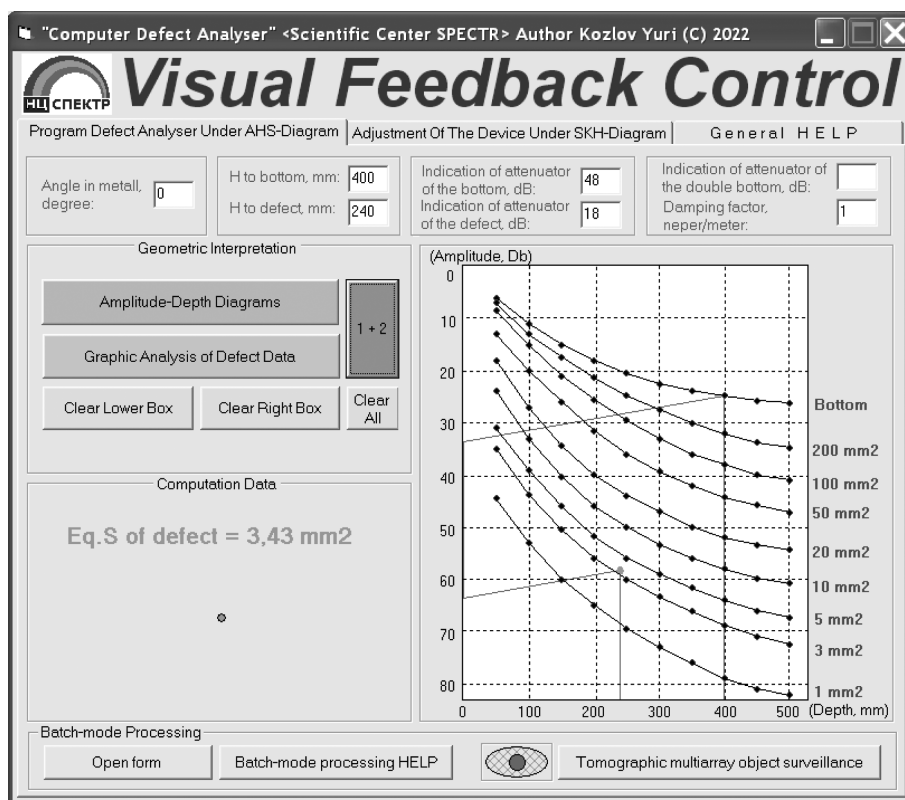


Рис. 1. Расчет площади дефекта по АРД-диаграмме. В результате расчета получен «допустимый дефект» (с эквивалентной площадью $S=3.43 \text{ mm}^2$)

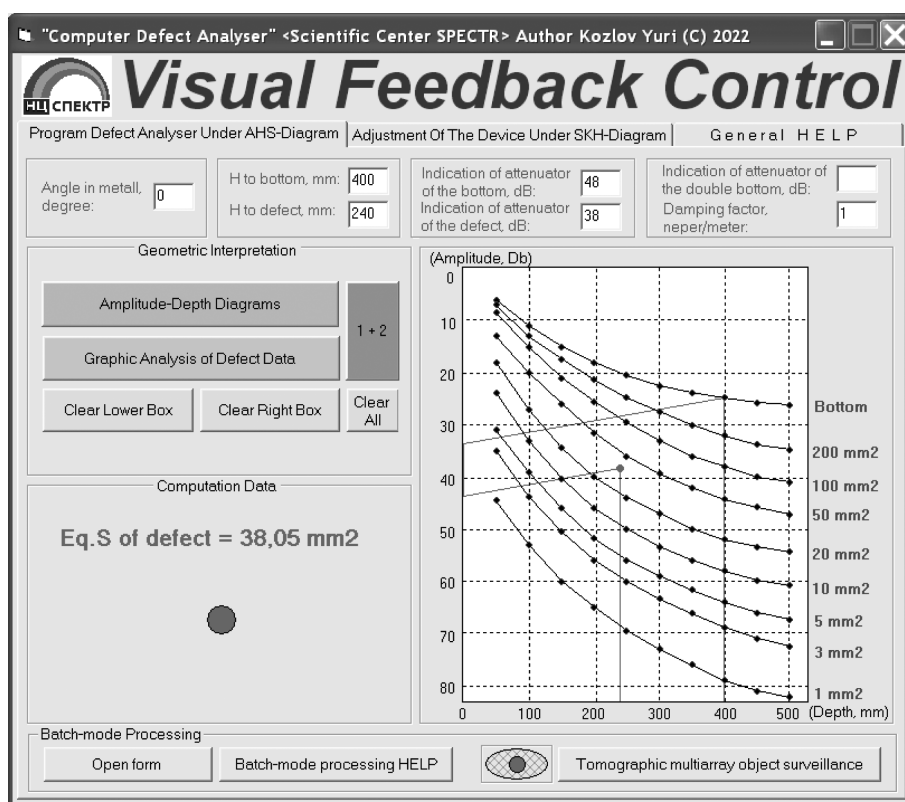


Рис. 2. Расчет площади дефекта по АРД-диаграмме. В результате расчета получен «недопустимый дефект» (с эквивалентной площадью $S=38.05 \text{ mm}^2$)

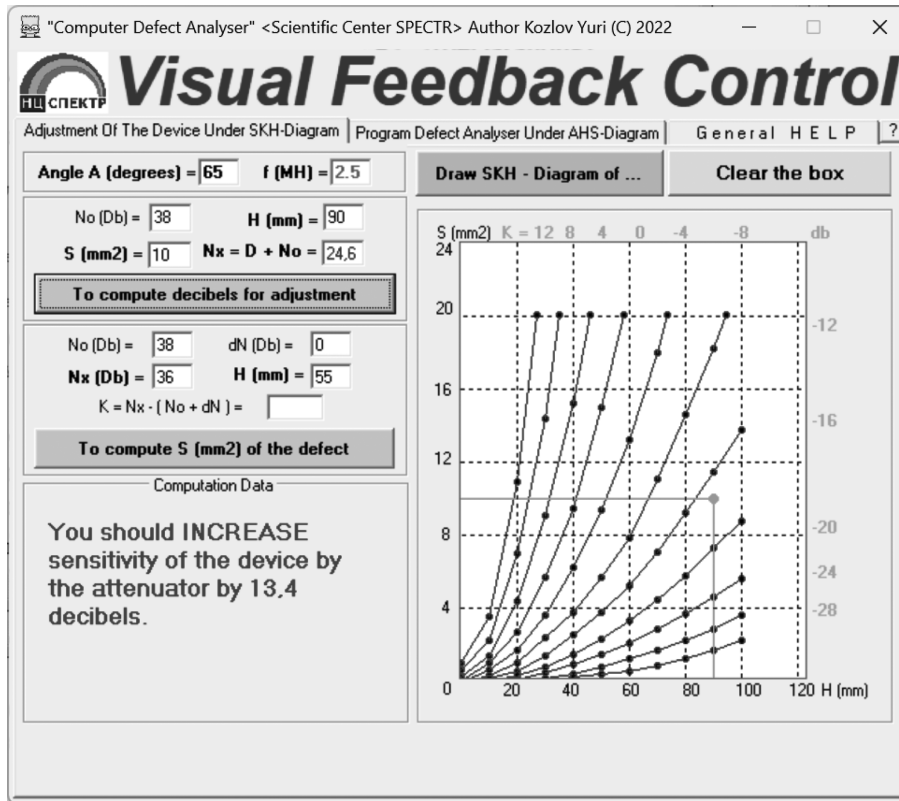


Рис. 3. Расчет настройки прибора с помощью диаграммы SKH

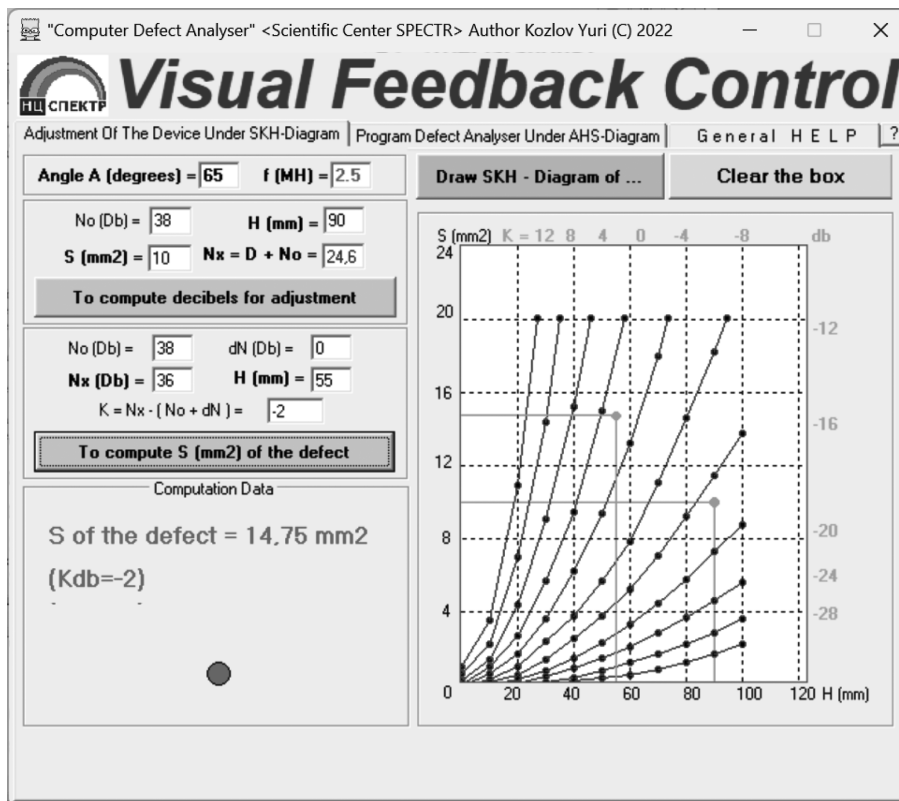


Рис. 4. Расчет площади дефекта по диаграмме SKH

Сравниваются амплитуды сигналов от отражателя (отверстия) в образце и от дефекта. Высота сигнала от отражателя (отверстия диаметром 6 мм) в эталоне (образце СО-2), при котором вершина сигнала от дефекта находится на средней горизонтальной линии экрана дефектоскопа и равна 38 (дБ).

Дефект найден на глубине 50 мм. Высота сигнала от дефекта (показание на панели аттенюатора) равна 36 дБ.

Определяем площадь дефекта.

Разность дБ от отражателя в эталоне и от дефекта равна -2дБ.

Получаем площадь дефекта 14.75 мм². При этом диаметр дефекта составит 3.84 мм².

При контроле глубин до 20 мм для более точной настройки аппаратуры и более точной оценки дефектов по существующим общим отраслевым рекомендациям, (что так же подтверждено автором исходя и из большого производственного опыта) рекомендовано использовать специализированные настроечные эталоны (образцы). В частности, «Образец для настройки чувствительности ультразвуковых приборов» [4] (Патент на изобретение № 2265209), «Эталон для настройки чувствительности ультразвуковых приборов» [5] (Патент на полезную модель № 42664).

Выводы

1. Преимущества настройки по АРД и СКН-диаграммам:

- повышение производительности сложных расчетов;
- нет необходимости в использовании невероятно большого количества сложных, дорогостоящих настроечных образцов;

- значительное уменьшение времени настройки УЗ аппаратуры;
- повышение достоверности вычислений при контроле больших глубин;

2. Автоматизация: 1) расчетов настройки приборов, 2) расчетов размеров/площади дефектов, 3) оценки дефектов повышает качество настройки приборов, расчетов дефектов, оценки дефектов, многократно повышает производительность, надежность, качество контроля. и, что очень важно, наглядность, уверенность контроля! минимизирует ошибки контроля, связанные с ручными расчетами настройки приборов и ручными расчетами размеров/площади дефектов и последующей ручной их оценки.

Автоматизация и полная визуализация расчетов дефектов и их оценки с мультипликацией алгоритма процесса настройки контролирующей аппаратуры делают расчетные операции наглядными, визуально контролируемыми и полностью исключают ошибки, связанные с человеческим фактором, которые часто возникают при выполнении сложных расчетных операций вручную, что исключительно важно (!), особенно при проведении контроля опасных производственных объектов, в том числе оборудования гидроэлектростанций (ГЭС)

Для справки

Экспериментальная часть, алгоритмы, программное обеспечение (разработка, отладка, тестирование), базы данных (ввод, хранение, обработка, выборки, тестирование) разрабатывались на основе программного обеспечения: Visual Studio, Android Studio, Система Управления Базами Табличных Данных (B2) [6], эксперименты по визуализации — freeWRL, на языках программирования: Visual C++, C#, Java, Visual Basic, Python, SQL, PHP, XML, WRL. Основное используемое оборудование: дефекто-



скопы УД2-70, стандартные образцы для ультразвукового контроля (эталон) СО-1, СО-2, СО-3, СО-4, образцы (эталон) для ультразвукового контроля, изготовленные по патентам на изобретение и полезную модель автора

Козлова Ю.Н. №2265209, №42664, ПЭП: 0,40,50,65, толщи-
номеры УТ, компьютеры SONY, IBM, SAMSUNG, LENOVO,
HUAWEI.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акт технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года. [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikisource.org/wiki/Акт_технического_расследования_причин_аварии_на_Саяно-Шушенской_ГЭС_17_августа_2009_года (дата обращения: 02.12.2022)
2. Владимир Раичев. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС: шесть лет со дня катастрофы. [Электронный ресурс]: URL: <https://sro34.ru/prevention/avariya-na-sayano-shushenskoj-ges-shest-let-so-dnya-katastrofy.html> (дата обращения: 03.06.2022)
3. Козлов Ю.Н. Компьютерный Анализатор Дефектов (КАД). Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004611317
4. Козлов Ю.Н. Патент на изобретение №2265209. Образец для настройки чувствительности ультразвуковых приборов
5. Козлов Ю.Н. Патент на полезную модель №42664. Эталон для настройки чувствительности ультразвуковых приборов
6. Козлов Ю.Н., Кишкин А.А. Система Управления Базами Табличных Данных (В2). Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ №20046110088. Сибирский Государственный Аэрокосмический Университет им. академика М.Ф. Решетнева

© Козлов Юрий Николаевич (yuriyuri@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»