

# ИНТЕРФЕЙС ПРИБОРА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

УДК 681.518

**Геннадий Александрович Перепелкин**,  
к.ф.-м.н., доцент каф. Математической киберне-  
тики Московского авиационного института (МАИ)  
Тел.: (916) 614-76-25  
Эл. почта: gaperep@mail.ru

**Анатолий Михайлович Торубаров**,  
ведущий инженер Национального института  
авиационных технологий (ОАО НИАТ)  
Тел.: (929) 683-19-85  
Эл. почта: 9296831985@mail.ru

**Борис Николаевич Чугаев**,  
к.т.н., доцент каф. Вычислительные машины,  
системы и сети Московского авиационного ин-  
ститута (МАИ)  
Тел.: (915) 253-08-64  
Эл. почта b.915@yandex.ru

В работе рассмотрена организация связи пер-  
сонального компьютера с прибором для неразру-  
шающего контроля остаточных поверхностных  
механических напряжений. Работа прибора  
основана на явлении дифракции ионизирующе-  
го излучения от кристаллической решётки  
приповерхностных кристаллитов. Предложено  
программное обеспечение с организацией  
интерфейса для каждой категории пользовате-  
лей: разработчиков прибора, администраторов,  
пользователей. Рассмотрены вопросы организа-  
ции связи микроконтроллеров с персональным  
компьютером через USB-порт.

**Ключевые слова:** *мобильный прибор, неразру-  
шающий контроль, нормальный закон распреде-  
ления, персональный компьютер, интерфейс,  
микроконтроллер.*

**Gennady A. Perepelkin**,  
PhD, Ph.D., Associate Professor, Dept. mathematical  
Cybernetics Moscow Aviation Institute (MAI)  
E-mail: gaperep@mail.ru

**Anatoliy M. Torubarov**,  
Leading Engineer of the National Institute of Aviation  
Technology ( JSC NIAT )  
E-mail: 9296831985@mail.ru

**Boris N. Cugaev**,  
Ph.D., associate professor cafes. Computers,  
Systems and Networks Moscow Aviation Institute  
(MAI)  
E-mail: b.915@yandex.ru

## INTERFACE DEVICE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING OF RESIDUAL SURFACE STRESSES

The paper considers the organization of connection of a personal computer with a device for nondestructive testing of residual surface stresses. The device works is based on the phenomenon of diffraction of ionizing radiation from the crystal lattice near the surface of the crystallites. Proposed software interface to the organization for each type of user: the device developers, administrators, users. Some aspects of the organization of communication microcontroller to a PC via USB-port.

**Keywords:** *mobile device, nondestructive testing, normal distribution, a personal computer, interface, microcontroller.*

## 1. Введение

В связи с развитием промышленности, транспорта, строительства и других областей деятельности человека в условиях ограниченности ресурсов, все большее значение приобретает определение возможности эксплуатации создаваемых машин и сооружений до безопасного предела, исключая их аварию.

Одним из методов определения этого предела является неразрушающий контроль силовых элементов из конструкционных материалов и сплавов.

Самыми распространенными такими методами являются рентгеновские методы неразрушающего контроля действующих объектов, основанных на просвечивании контролируемых объектов рентгеновскими лучами. Такой метод контроля позволяет обнаружить раковины, трещины и неоднородности в металлических конструкциях и практически не применим для фиксации остаточных и рабочих поверхностных механических напряжений. Кроме того, применение рентгеновских методов требует специально подготовленного помещения и специальной защиты технического персонала от излучения. Отметим, что применение рентгеновских методов, основанных на просвечивании контролируемого объекта, практически невозможно в полевых условиях или сопряжено с большими трудностями.

В статье рассматривается принцип неразрушающего экспресс-анализа и измерения остаточных поверхностных механических напряжений основанный на дифракции ионизирующего излучения от кристаллической решетки исследуемого объекта.

Разрабатываемый мобильный прибор позволит работать в полевых условиях, исследуя труднодоступные участки металлических конструкций, включая узлы и детали аэрокосмических систем. Объединение прибора и персонального компьютера с помощью разработанного интерфейса, позволяет осуществлять мониторинг состояния обследуемых объектов.

Разработанный макет прибора имеет малые габариты и массу, электробезопасен и не требует дополнительной защиты от излучения.

Сказанное объясняет одно из важнейших достоинств предлагаемого метода исследования и спроектированного прибора на его основе, а именно его экономичность. Следует отметить, что аналогов данному прибору не найдено.

## 2. Постановка задачи

В национальном институте авиационных технологий (ОАО «НИАТ») разрабатывается мобильный прибор для неразрушающего экспресс-анализа и измерения величин остаточных и рабочих поверхностных механических напряжений в поликристаллических материалах (металлах и сплавах).

Работа прибора основана на явлении дифракции ионизирующего излучения от кристаллической решётки приповерхностных кристаллитов, что, в отличие от макроскопических методов измерения, позволяет измерять деформации на уровне кристаллической решётки. В качестве излучающего элемента используется радионуклид Fe-55. При работе прибора не требуется специально подготовленного помещения и дополнительной защиты от излучения для персонала, работающего с прибором. Прибор позволяет проводить неразрушающий контроль ос-

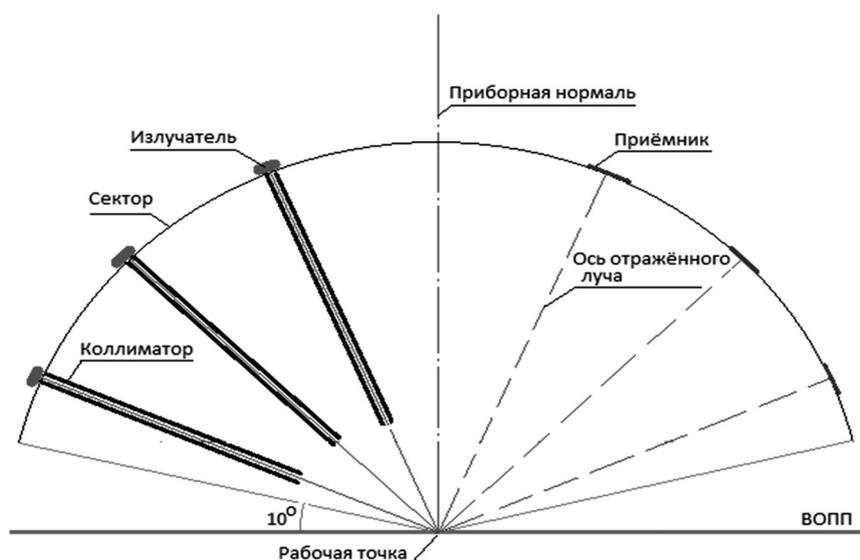


Рис. 1. Принцип работы прибора

таточных поверхностных механических напряжений особо нагруженных деталей, узлов и оболочек различных устройств, где разрушающие методы неприменимы.

Небольшие габариты и масса прибора, независимость от внешнего питания и радиационная безопасность позволяет проводить измерения как на крупногабаритных объектах, так и в труднодоступных местах конструкций.

Особо следует отметить возможность измерений не только в лабораторных и цеховых, но и в полевых условиях.

Принцип действия прибора достаточно прост. Основой прибора является несущий сектор с установленными на нём излучателями (один в процессе макетирования и 3–5 в реальном приборе) с коллиматорами и установленными зеркально им относительно центральной оси сектора приёмниками отражённого луча. Приёмники представляют линейку чувствительных элементов (8 – в макетном образце и 128 или 256 в изделии) с шагом около 0.055 мм (уточняется при изготовлении). Подсчитывая число принятых импульсов на каждом их приёмников – получаем распределение импульсов по линейке приёмников (предположительно нормальное распределение, желательна визуализация распределения импульсов). Отклонение математического ожидания от

эталона позволяет судить о наличии остаточных напряжений.

### 3. Программная реализация

Практически все внешние приборы связываются с персональным компьютером (ПК) через USB-порты, которые поддерживаются всеми современными операционными системами (ОС). Реальные ПК имеют 4–8 физических USB портов, кроме того доступны USB HUB-ы, расширяющие число USB портов. Для преобразования сигналов устройства в стандарт USB интерфейса служат микроконтроллеры (МК). При массовом производстве в МК закладывается преобразование всех функций внешнего устройства в команды USB-порта, для ПК создаётся драйвер.

Для новых устройств в процессе отладки связи их с ПК представляют интерес МК, которые на выходе обеспечивают поддержание стандарта связи по USB порту, а на входе имеют от 8 до 32 (64) информационных шин с программируемой логикой (вход/выход, АЦП и др.), кроме того в МК имеется внутренняя память для предварительной обработки данных на шинах. Для них создаются драйвера, что позволяет не отвлекаться на разработку системного программного обеспечения.

Для пилотного проекта программы выбран USB модуль Ke-USB24A [2] имеющий 24 линии ввода/вывода,

обеспечивается драйвером для всех популярных операционных систем (XP, WINxx, Linux). После установки драйвера модуль Ke-USB24A видится как дополнительный COM-порт со своими командами управления (\$KE-команды) [2].

Принципиально возможно два режима связи разрабатываемого прибора с ПК.

– Первый режим, назовём его «OFF LINE», предполагает наличие на каждый чувствительный элемент счётчика числа импульсов, то есть 8, 128 или 256 счётчиков. Разрядность счётчиков 1 байт. При достижении «мах» (256) на любом из счётчиков линейки приём сигналов этой линейки прекращается. При достижении «мах» на всех линейках прибор готов для связи с ПК для обработки полученных данных. В этом случае прибор работает автономно, может быть размещен в любых труднодоступных местах контролируемого изделия. Требования к скорости обработки данных нет. На линейке счётчиков имеем распределение сигналов, причём это будет практически идеальное состояние числа импульсов на каждом счётчике, так как время счёта сигналов измеряется в *нсек*, появление одновременно двух сигналов на один из приёмников практически исключено.

– Второй режим, назовём его «ON LINE», предполагает постоянную связь ПК с прибором. Алгоритм работы в этом случае следующий: при появлении на линейке одного из сигналов блокируется прием импульсов, а на ПК передаётся либо 128 (256) бит, ПК определяет номер в линейке и добавляет «1» в соответствующий счётчик, либо прибор формирует номер в линейке (один байт), ПК добавляет «1» в соответствующий счётчик. Недостаток данной связи в возможности пропуска в принятии сигналов, так как во время связи с ПК счёт блокируется, а это *мсек*. Кроме того, необходима постоянная связь ПК с прибором, что в ряде случаев не всегда удобно. Преимущество в том, что можно интерактивно наблюдать «картинку» распределения сигналов, «мах»

не ограничивается 256, ПК – инициатор испытаний. Данный режим может быть рекомендован для исследовательских задач, но только при условии, что распределение сигналов – Пуассоновское, так как в этом случае допустимо снимать информацию с любым периодом.

В реализации принято следующее распределение линий:

1–8-я линии (входные) для приёма состояния очередного счётчика;

24-я линия (выходная) «1» – ПК готов обрабатывать сигналы с USB (готовность ПК к работе с прибором);

23-я линия (выходная) «1» – ПК «Считал» очередной байт;

22-я линия (входная) «1» – прибор выставил состояние очередного счётчика;

21-я линия (входная) «1» – прибор выдал всю информацию со всех линеек приёмника;

9-20-я линии не используются.

Обмен с COM-портом, назначенный ОС для модуля Ke-USB24A, производится посредством описателя (Handle), команда создания которого приведена ниже:

```
f := Windows.  
CreateFile(PChar('COMxxx'),  
GENERIC_READ or GENERIC_  
WRITE, FILE_SHARE_READ or  
FILE_SHARE_WRITE, nil, OPEN_  
EXISTING, FILE_ATTRIBUTE_  
NORMAL, 0);
```

где:

f – Handl  
COMxxx – COM-порт с прибором, в программе заменяется на конкретное значение.

Остальные значения Handl стандартные [2].

Обмен данными с COM-портом выполняется стандартными командами WriteFile и ReadFile. Так как драйвер модуля Ke-USB24A воспринимает только \$KE команды, требующие завершения любой \$KE команды символами “конец строки” и “перевод строки” была реализована простая процедура WrStrCom, текст которой приведён ниже (диагностика исполнения опущена):

```
procedure WrStrCom(Str:String);  
var  
S:String;  
jj:cardinal;  
BEGIN  
S:=Str+#13#10;  
WriteFile(f,PChar(S)^, Length(Str)+2,  
jj, nil)  
END;
```

Ниже приведено использование этой процедуры для настройки Ke-USB24A:

```
//Установим 8 входов на приём  
$KE,IO,SET с записью в ПЗУ  
WrStrCom('$KE,IO,SET,1,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,2,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,3,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,4,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,5,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,6,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,7,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,8,1,S');  
WrStrCom('$KE,IO,SET,24,0,  
S');//24-я линия на выход  
WrStrCom('$KE,IO,SET,23,0,  
S');//23-я линия на выход  
WrStrCom('$KE,IO,SET,22,1,  
S');//22-я линия на приём  
WrStrCom('$KE,IO,SET,21,1,  
S');//21-я линия на приём
```

Некоторые сложности возникли при приёме, поясним на примере. Выдаём команду:

```
WrStrCom('$KE,RD,22').
```

То есть, считать содержимое 22-ой линии. Команда:

```
ReadFile(f,Buf, 128,  
NumberWritten, nil);
```

считает в «Buf» ответ, который при положительном результате должен быть «RD,22,1». Но положение этой записи в «Buf» не определено, очистка «Buf» не помогает. Приходится отыскивать нужную запись простейшим перебором и принимать необходимое действие: если не найдено «RD,22,1» то повторить запрос после некоторого ожидания, либо продолжить работу.

Предложенные действия обмена информацией с модулем Ke-USB24A реализованы во всех процедурах связи с модулем Ke-USB24A.

#### 4. Состав программного обеспечения

##### 4.1 Модуль учета и тарификации приборов

Для учёта поставляемого «железа» – радиоактивных излучателей в корпусе с линейкой приёмников, их тарификации перед сдачей заказчику предусмотрен модуль со следующими функциями:

- сопровождение базы данных приборов,
- тарификации приборов на образцах без остаточных напряжений.

В базе данных предусмотрены следующие сведения (табл. 1)

В режиме тарификации по каждому из излучателей выдается диаграм-

Таблица 1

Поле	Примечание
Название (код) прибора	Произвольное имя без специальных символов
Радиус	100 мм, но возможны отклонения в партиях
Шаг	0,055, возможны изменения в партиях
Число приёмников в линейке	8,128 ,256
Количество излучателей	1, 3,5
Мат. ожидание 1-ой линейки	Половина числа приемников, уточняется при тестировании
Мат. ожидание 2-ой линейки	Половина числа приемников, уточняется при тестировании
Мат. ожидание 3-ей линейки	Половина числа приемников, уточняется при тестировании
Мат. ожидание 4-ой линейки	Половина числа приемников, уточняется при тестировании
Мат. ожидание 5-ой линейки	Половина числа приемников, уточняется при тестировании
	Доп. Сведения



Рис. 2. Распределение числа импульсов по псевдо-нормальному распределению

ма числа импульсов (рис. 2), который получен при имитации нормального закона распределения импульсов, при числе приёмников 256. Подобная «картинка» при реальном излучателе позволяет судить, например, о многомодовом распределении, сделать выводы о дальнейшей работе с прибором.

#### 4.2. Модуль привязки программы к конкретному изделию

Назначение этого модуля – привязать рабочую программу расчёта к конкретному прибору. Под этим подразумевается выполнение следующих действий, выполняемых с загружаемым (.exe) модулем:

В область констант программы:

- переносятся все данные выбранного «железа» (из прошедших тарификацию),
- назначается «логин» и «пароль» для администратора прибора,
- вводится дата создания – текущая дата,
- задаётся срок работы прибора срок предупреждения о его окончании.

Далее модуль с изменённым именем констант переименовывается. Новое имя модуля – «имя прибора.exe».

По окончании работы этого модуля формируется каталог, имя которого совпадает с именем прибора. Содержимое этого каталога:

- программа пользователя «имя прибора.exe».
- файл «PSW», зашифрованный, для логинов и паролей потенциальных пользователей
- файл «log.mdb» – журнал учёта работы пользователей

– файл «Паспорт прибора *имя прибора.txt*», который содержит все сведения о приборе.

Кроме этого, в сформированный каталог переписываются два файла: «*KeUsb2Com\_Uni.inf*» и «*Инструкции по установке.pdf*». Эти файлы поставляются разработчиками модуля Ke-USB24A, необходимы для установки драйвера.

Содержимое этого каталога вместе с прибором передаётся заказчику.

#### Программа пользователя

**Установка.** Работа с программой начинается с установки её на выбранный для работы ПК. Затем происходит передача каталога на свободное место любого диска. После этого, используя «Инструкции по

установке .pdf» при подключённом приборе, устанавливается драйвер для Ke-USB24A. Следует запомнить номер COM-порта, который будет присвоен Ke-USB24A. На этом установка заканчивается.

**Работа администратора.** Администратор запускает программу «*имя прибора.exe*». Интерфейс этой программы интуитивно понятный. Алгоритм её работы, следующий:

В случае первого запуска программа автоматически переходит в режим администрирования. После ввода логина и пароля администратора можно зарегистрировать пользователя вводя логин, пароль, фамилию пользователя. Процесс можно повторить нужное количество раз, или при запуске программы выбрать «администрирование».

**Работа пользователя.** При повторном (и последующих) запусках программы выбирается режим «администрирование» или «работа». Режим администрирования описан выше. В режиме «работа» предусмотрены две альтернативы «тест» и «испытания». Их работа принципиально не отличаются, первый режим предназначен для проверки работоспособности прибора на заранее известных образцах. Второй режим – рабочий. Выбрав материал

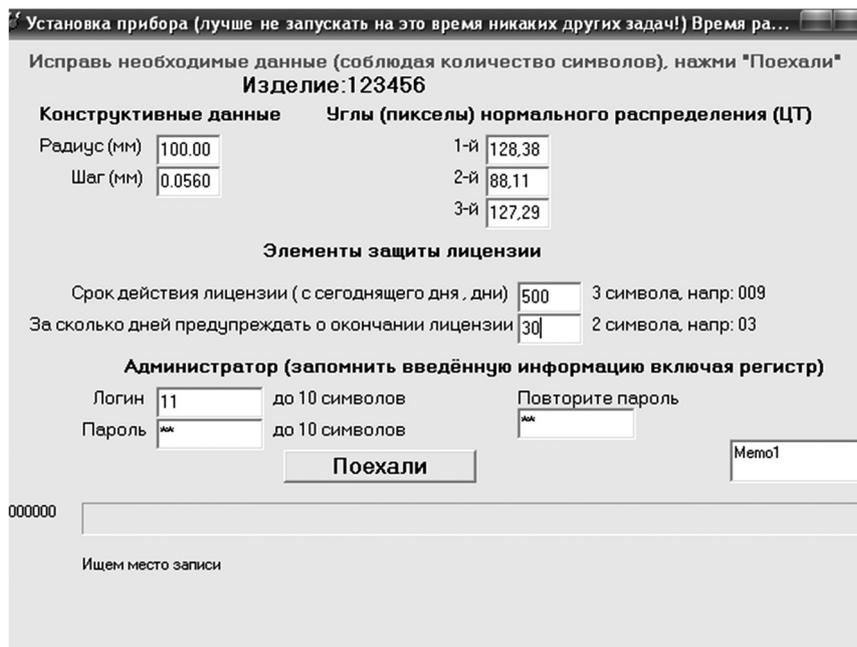


Рис. 3. Вид экрана «Модуль привязки программы к конкретному изделию»

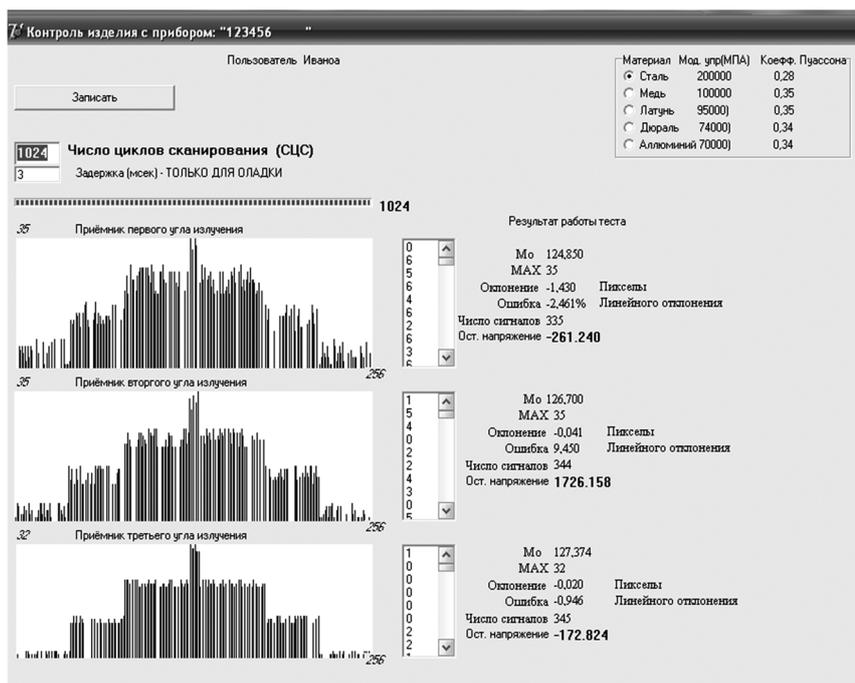


Рис. 4. Вид результатов работы прибора

и запуская выполнение получаем следующий (рис. 4) экран (пользователь – Иванов, материал – сталь, прибор – 123456, число излучателей – 3, размерность линейки приёмников – 256).

Этот экран и численные данные сохраняются в каталоге «Фамилия пользователя/Тест» или «Фамилия пользователя/Испытания» соот-

ветственно. Для идентификации к именам файлов приписывается «год. дата. час. мин» проведения работы.

Администратор всегда может получить сведения о тестах, испытаниях, по исполнителю (пользователю), времени (период или конкретно). Для этого в функциях администратора предусмотрена работа со сведениями о работе пользователей.

## 5. Заключение

Предлагаемый прибор позволяет оперативно проводить экспресс-анализ остаточных поверхностных напряжений в металлических конструкциях с фиксацией данных в памяти ПК. Фиксация данных позволяет проводить мониторинг состояния исследуемых конструкций.

## Литература

1. Патент РФ № 2387980 «Способ экспресс-анализа механических поверхностных напряжений поликристаллических материалов и параметров их кристаллической решётки и устройство для его осуществления».
2. <http://www.kernelchih.ru>
3. Комяк Н.И., Мясников Ю.Г. Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений. – Л: Машиностроение, 1972 г. – 178с.

## References

1. RF Patent number 2387980 “Method for the rapid analysis of mechanical surface stress of polycrystalline materials and parameters of the crystal lattice and device for its implementation.”
2. <http://www.kernelchih.ru>
3. Komyak NI Myasnikov YG X-ray methods and apparatus for determining the stress. - L: Mechanical Engineering, 1972. – 178 s.