

**Общество с ограниченной ответственностью  
«Электронные технологии и метрологические системы»**

**Программа «Снятие распределения напряжений  
(деформаций) в лопатке газотурбинных  
двигателей по основному тону с применением  
тензостанций модели ZET058»**

**Руководство оператора  
ЭТМС.424200.000-14 34**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. Назначение и возможности программы.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Подготовка к работе.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Установка ZETLAB.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Установка ПО ««РНЛ ГТД(ZET058)»».....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Необходимое оборудование .....</b>	<b>4</b>
<b>2.4 Требования к конфигурированию тензостанций.....</b>	<b>4</b>
<b>2.5 Настройка каналов генератора тензостанций ZET 058.....</b>	<b>5</b>
<b>2.6 Настройка измерительных каналов тензостанции ZET 058.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Работа с программой .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Запуск ПО и описание интерфейса .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Проведение испытаний .....</b>	<b>15</b>

## 1. Назначение и возможности программы

Программа «Снятие распределения напряжений (деформаций) в лопатке газотурбинных двигателей по основному тону с применением тензостанций модели ZET 058» (далее по тексту «РНЛ ГТД(ZET058)») предназначена для автоматизированного получения значений и построения кривых относительного распределения напряжений в лопатке при колебаниях по основному тону в соответствии с требованиями ОСТ 1 00870-77.

Программа «РНЛ ГТД(ZET058)» в комплекте с ПО ZETLAB рассчитана на работу с восьмиканальными тензостанциями ZET 058, и обеспечивает возможность регистрации сигналов с 32 тензорезисторов<sup>1</sup>, установленных на объекте испытаний (лопатке ГТД в соответствии с требованиями Приложения 1 ОСТ 1 00870-77).

Программа «РНЛ ГТД(ZET058)» позволяет оперативно получить и сохранить как в графическом, так и в табличном виде значения механических напряжений (МПа либо кгс/мм<sup>2</sup>) зарегистрированных в точках установки тензорезисторов, сгруппированных по трем зонам вдоль лопатки (выходная кромка, входная кромка и спинка) и по двум зонам по торцу лопатки (седло и корыто).

Программа имеет два режима работы «Тензометр» и «Камертон».

В режиме «Тензометр» программа производит расчет значений механических напряжений на основе сигналов, регистрируемых с измерительных каналов тензостанций с учетом коэффициентов чувствительности измерительного канала.

В режиме «Камертон» программа производит расчет механических напряжений, регистрируемых с тензорезисторов с учетом параметров предварительно зарегистрированных на ножке камертона.

---

<sup>1</sup> При наличии в комплекте задействованного оборудования четырех сейсмостанций ZET058

## 2. Подготовка к работе

### 2.1 Установка ZETLAB

Установите ПО ZETLAB (если оно не устанавливалось ранее) с flash-накопителя на компьютер, на котором будут производиться работы, для чего запустите файл-установщик ZETLab.msi. Следуя инструкциям мастера, установите ПО ZETLAB в директорию C:\ZETLab при этом будет также установлено программное обеспечение ZETVIEW.

### 2.2 Установка ПО «РНЛ ГТД(ZET058)»

Для работы программы «РНЛ ГТД(ZET058)» необходимо скопировать файл «РНЛ ГТД(ZET058).exe» с flash-накопителя в любую директорию компьютера. Для удобства доступа к программе можно расположить ярлык на файл «РНЛ ГТД(ZET058).exe» на рабочем столе ОС.

### 2.3 Необходимое оборудование

Для проведения испытаний требуется:

- Компьютер с предустановленным программным обеспечением -1 шт.;
- Тензостанции ZET 058 – 1...4 шт.;
- Коммутатор Ethernet (не менее 5 портов) – 1 шт.;
- Электронный ключ ZETKEY – 1 шт.;
- Тензодатчики – до 34 шт. на цикл испытаний одной лопатки (в зависимости от схемы расположения тензорезисторов);
- Вибростенд с кронштейном для крепления испытываемой лопатки;
- Генератор сигналов на базе контроллера сбора данных ZET 032, либо системы управления вибростендом ZET 024.

### 2.4 Требования к конфигурированию тензостанций

Для обеспечения работы программного обеспечения выполните настройки тензостанций в соответствии с указанными в разделе требованиями.

*В данном разделе приводится краткая информация о требованиях к настройке параметров тензостанций применительно в части необходимой для корректной*



*работы с данным программным обеспечением. Общие правила выполнения настроек для тензостанций модели ZET 058 - в документе «Руководство по эксплуатации ЭТМС.411168.008 РЭ»*

Тензостанции должны быть подключены по интерфейсу Ethernet к компьютеру (с использованием коммутатора Ethernet) и сконфигурированы на работу в единой подсети в синхронном режиме (одна тензостанция в режим «Ведущий», остальные «Ведомый»).

Частота дискретизации на тензостанциях должна быть установлена на значения: по каналам АЦП – 25 кГц, по каналам ЦАП – 50 кГц.

Одиночные тензорезисторы (четвертьмостовая схема включения) подключаются непосредственно на входы тензостанций ZET 058 и не требует применения переходника с дополнительными резисторами.

При настройке измерительных каналов необходимо будет выбрать режим «1/4 мост» выбрать единицы измерения «мкм/м» и произвести балансировку для каждого измерительного канала.

Настройку каналов генератора и измерительных каналов тензостанции необходимо выполнить в соответствии с правилами, приведенными разделах 2.5 и 2.6.



**Внимание!** На, регистрирующих сигналы с тензорезисторов измерительных каналах должны быть установлены единицы измерения «мкм/м»



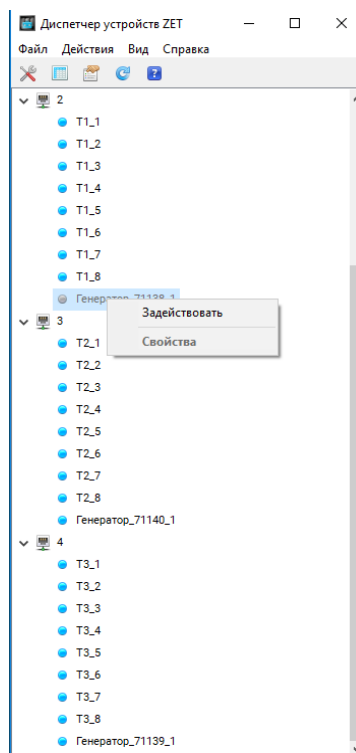
**Примечание!** При первом подключении к компьютеру, параметры измерительных каналов тензостанции и канала генератора определяются заводскими (инициализирующими) настройками

## 2.5 Настройка каналов генератора тензостанций ZET 058

Так как в качестве первичных преобразователей используются тензорезисторы то для выполнения измерений необходимо подать электропитание на них. Контроллеры ZET 058 обеспечивают возможность подачи электропитания на тензорезисторы прямо с контактов входных разъемов к которым они подключаются. Параметры электропитания, подаваемого на входные разъемы определяются настройками параметров встроенного в тензостанцию генератора.

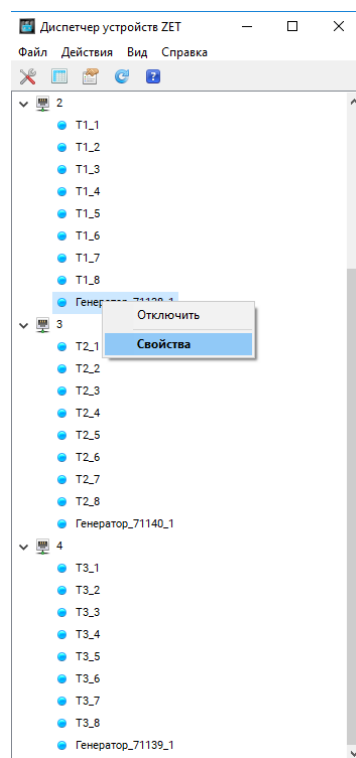
Для корректной работы необходимо выполнить настройку генераторов для всех тензостанций задействованных в измерениях. Настройка каналов генератора выполняется в следующей последовательности.

В окне программы «Диспетчер устройств ZET» вызвать выпадающее меню с помощью правой кнопкой манипулятора «мышь» с указанием на идентификатор настраиваемого канала генератора и выбрать из списка «Задействовать» (Рис. 2.1), после чего индикатор измерительного канала изменит цвет с серого на голубой.



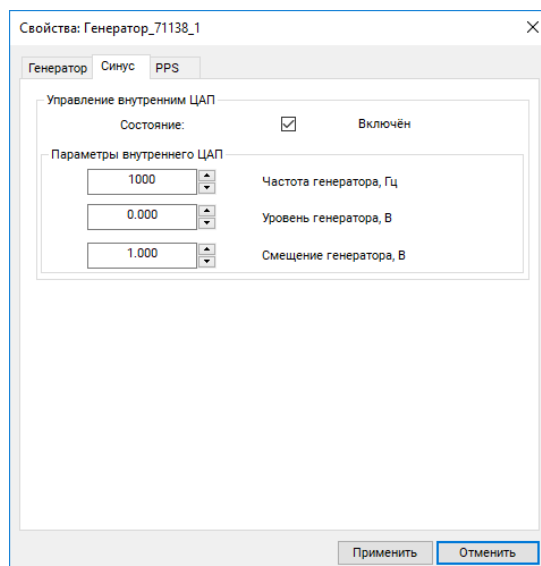
*Рис. 2.1 Окно «Диспетчер устройств» с выпадающим окном*

Вызвать выпадающее меню для измерительного канала настраиваемого генератора и выбрать «Свойства» (Рис. 2.2).



*Рис. 2.2 Окно Диспетчер устройств с выпадающим окном*

В открывшемся окне «Свойства» перейти на вкладку «Синус» и установить соответствующие приведенным на рисунке (Рис. 2.3) параметры питания тензорезисторов, подключаемых к соответствующей настраиваемому каналу генератора тензостанции.

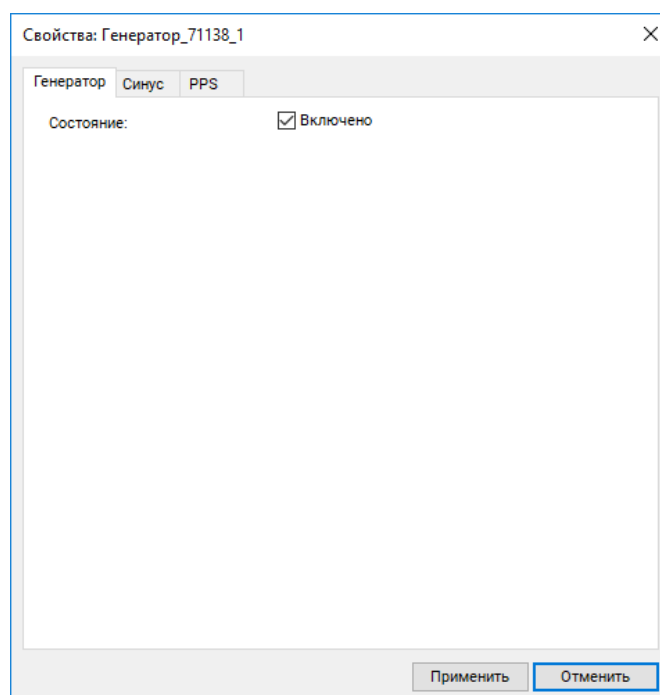


*Рис. 2.3 Вкладка «Синус» канала генератора*

Обратите внимание что в указанном на рисунке примере (Рис. 2.3) значение частоты равное 1000 Гц нивелируется нулевым значением уровня генератора, таким образом выходной уровень генератора определяется только значением постоянного смещения и составляет 1 В.

**Внимание!** *Запрещается использовать переменное напряжение для питания  $\frac{1}{4}$  мостовой схемы. Значение величины тока, протекающего через резистор, не должно превышать 5 мА.*

Перейти на вкладку «Генератор» и установить для параметра «Состояние» значение «Включено» (Рис. 2.4). После чего нажать кнопку «Применить».



*Рис. 2.4 Вкладка «Генератор» канала генератора*

## 2.6 Настройка измерительных каналов тензостанции ZET 058

Для работы необходимо настройка всех измерительных каналов по всем участвующим в проведении измерений сейсмостанциям.

Выполнение настройки по каждому измерительному каналу выполняется в следующей последовательности.

В окне программы «Диспетчер устройств ZET» вызвать выпадающее меню с помощью правой кнопкой манипулятора «мышь» с указанием на идентификатор настраиваемого измерительного канала и выбрать из списка «Свойства» (Рис. 2.5).

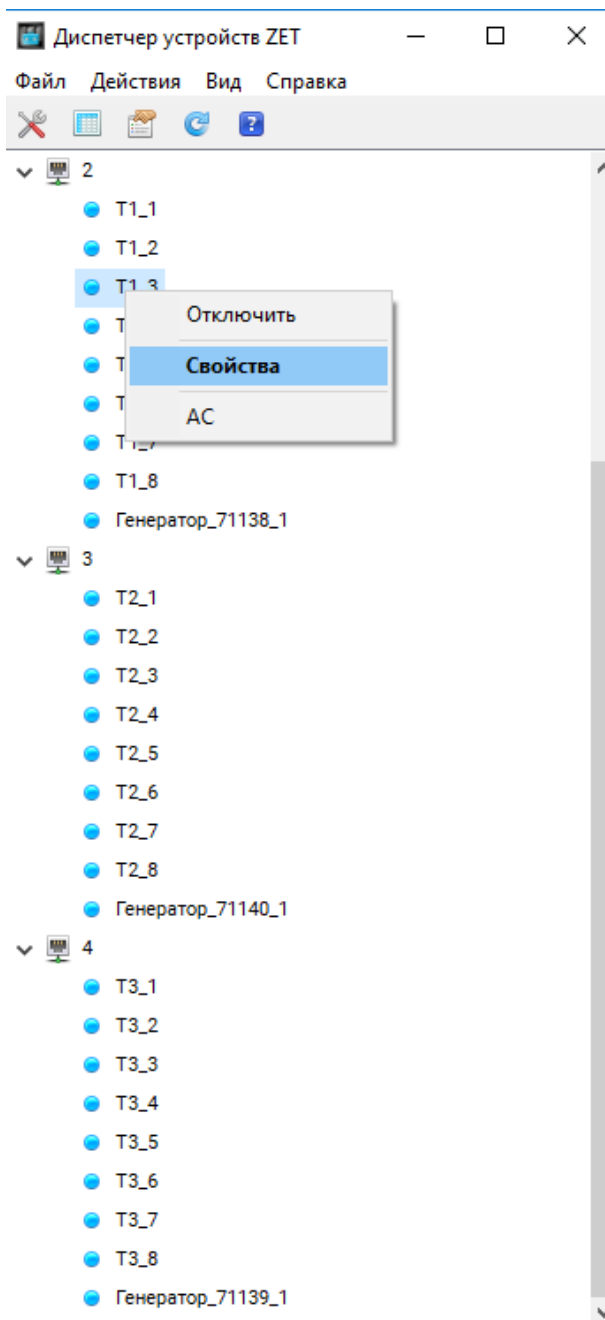


Рис. 2.5 Окно Диспетчер устройств с выпадающим окном



В открывшемся окне «Свойства» (Рис. 2.6) в графе «Название» задать наименование для измерительного канала учитывая следующий принцип<sup>2</sup>:  $Tx_y$ , где Т- канал тензоизмерений, х – порядковый номер тензостанции (1...3), у – порядковый номер измерительного канала тензостанции (1...8).

Свойства: T1\_3

Измерительный канал

Название: T1\_3

Комментарий:

Чувствительность, В/мкм/м: 5e-07 В / мкм/м

Смещение пост. сост., мкм/м: -1071.89

КУ внешнего усилителя: 1

Координаты: X: 0 Y: 0 Z: 0 P: 1

Интегральный уровень сигнала:

Диапазон: 190000 мкм/м (до 105.58 дБ) КУ 100

Тензо настройки

Копировать Вставить Применить Отменить

Рис. 2.6 Окно Свойства

В окне «Свойства» (Рис. 2.6) в области «Интегральный уровень сигнала» активируя символ «стрелки вправо» установить значение усиления равное «100» (о чем информирует надпись «КУ 100» расположенная под индикатором интегрального уровня сигнала).

В окне «Свойства» (Рис. 2.6) активировать кнопку «Тензо настройки» при этом откроется окно «Настройки параметров мостовой схемы» (Рис. 2.7).

Настройка параметров мостовой схемы: T1\_3

**91.278030** **МКМ/М**

Балансировка

Схема подключения: Четвертьмост

Автобалансировка

Сопротивление опорного резистора: 449.3 145.1

Свойства генератора

Перемен. сост.: 0.00 мВ

Пост. сост.: 999.97 мВ

Сопротивление тензорезистора: 409.7 Ом

Кoeffициент тензочувствительности: 2

Ед. изм. деформации/напряжения: мкм/м

Модуль Юнга, ГПа: 200

Применить Отменить

Рис. 2.7 Окно «Настройка параметров мостовой схемы»

<sup>2</sup> При использовании другого принципа наименования каналов перед проведением испытаний в окне программы «РНЛ ГТД(ZET058)» потребуется выполнить установку их соответствия порядковому номеру канала измерения программы

В окне «Настройки параметров мостовой схемы» из раскрывающегося списка для параметра «Схема подключения» (Рис. 2.8) выбрать схему подключения тензорезистора «Четвертьмост», установить для параметров «Сопротивление тензодатчика» и «Коэффициент тензочувствительности» значения, указанные в паспорте тензорезистора, подключаемого к данному измерительному каналу.

Рис. 2.8 Окно «Настройка параметров мостовой схемы»

В окне «Настройки параметров мостовой схемы» (Рис. 2.8) для параметра «Ед. изм. деформации/напряжения» выбрать из выпадающего списка - «МКМ/М».

Выполнить балансировку для чего в окне «Настройки параметров мостовой схемы» (Рис. 2.7) активировать кнопку «Автобалансировка» и дождавшись ее окончания активировать кнопку «Применить» после чего в открывшемся окне «Предупреждение» подтвердить выполнение смещения в ноль активировав «Да».

### 3. Работа с программой

#### 3.1 Запуск ПО и описание интерфейса

Для запуска программы «РНЛ ГТД(ZET058)» необходимо двойным нажатием левой клавиши мыши активировать файл «РНЛ ГТД(ZET058).exe» (Рис. 3.1).



Рис. 3.1 Файл «РНЛ ГТД(ZET058).exe»

Откроется окно программы «РНЛ ГТД(ZET058)» (Рис. 3.2).

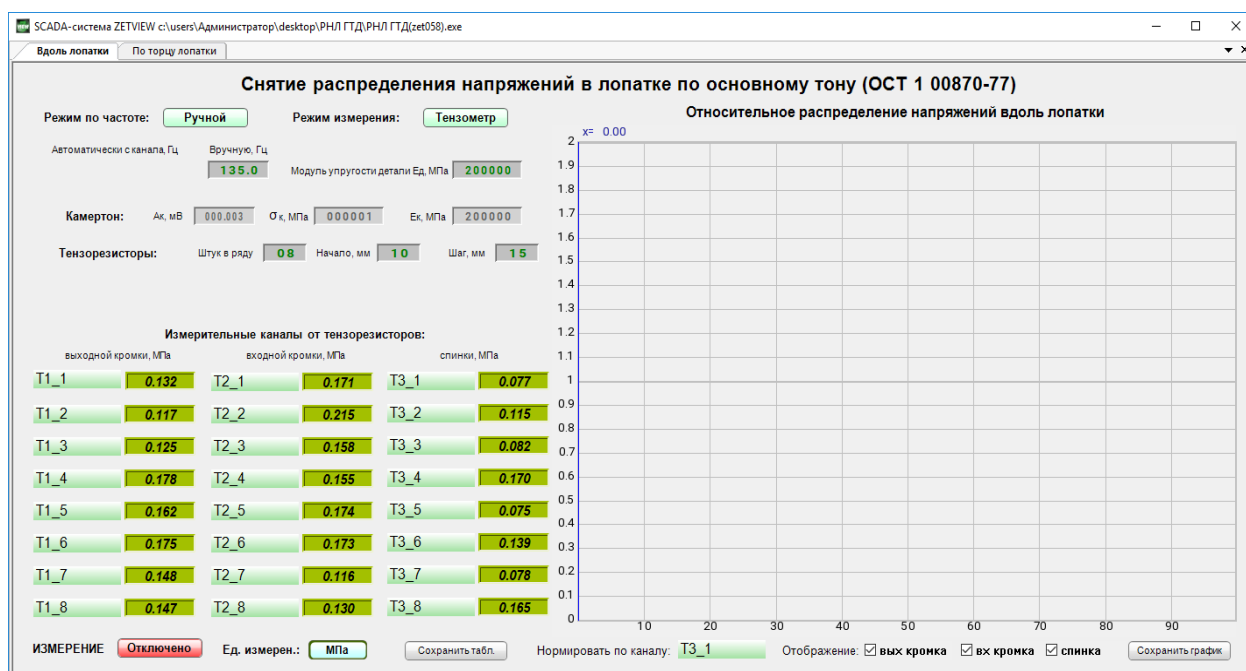


Рис. 3.2 Окно программы «РНЛ ГТД(ZET058)»

Окно программы содержит две вкладки: «Вдоль лопатки» и «По торцу лопатки». Вкладка «Вдоль лопатки» предназначена для снятия распределения напряжений вдоль лопатки по трем зонам: выходная кромка, входная кромка и спинка, а вкладка «По торцу лопатки» - для снятия распределения напряжений по двум областям на торце лопатки: седло и корыто.

Элементы управления и отображения интерфейс для каждой из вкладок программы приведены ниже по тексту.

Режим по частоте: «Ручной» либо «Автомат». Данный режим указывает на источник, по которому будет определяться значение частоты, на которой программа (при помощи узкополосного спектрального анализа) будет производить измерение амплитуды колебаний регистрируемой с тензорезисторов.

В режиме «Ручной» значение частоты возбуждения указывается программе через селектор «Вручную».

В режиме «Автомат» поле «Автоматически с канала» меняет свой вид (Рис. 3.3).

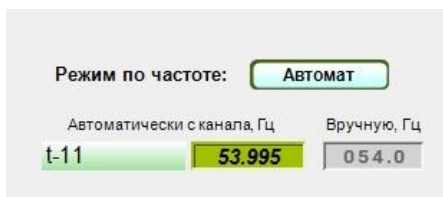


Рис. 3.3 Поле «Автоматически с канала» в режиме «Автомат»

В этом режиме программа осуществляет автоматический захват частоты с измерительного канала, выбранного оператором (в поле «Автоматически с канала») в качестве канала контроля за частотой возбуждения. Для контроля устойчивости захвата частоты возбуждения в поле «Автоматически с канала» имеется индикатор, в котором отображается регистрируемое программой значение частоты.



*Если автоматическое определение частоты возбуждения происходит не устойчиво следует воспользоваться режимом «Ручной»*

Режим измерения: «Тензометр» либо «Камертон».

В режиме «Тензометр» программа регистрирует значения с измерительных каналов и пересчитывает их в «МПа» либо в «кгс/мм<sup>2</sup>» (в зависимости от выбранных единиц измерения в поле «Ед. измерения») с учетом коэффициента чувствительности измерительного канала и значения модуля упругости детали, указанного в поле «Ед» по формуле:

$$\text{Бд} = \Delta * \text{Ед} * \text{К}$$

где  $\Delta$  (м/м) – значение регистрируемой деформации на измерительном канале тензостанции приведенное к единице измерения «м/м»;

$\text{Ед}$  (МПа) – модуль упругости исследуемой детали (лопатки ГТД),

$\text{К}$  – коэффициент, определяющий единицы измерения: «1» для МПа, «0.10197» - для кгс/мм<sup>2</sup>,

В режиме «Камертон» программа пересчитывает регистрируемые значения с учетом значений параметров, указанных в поле «Камертон» (Рис. 3.4) по формуле:

$$\text{Бд} = (\text{Бк} * \text{Ад} * \text{Ед}) / (\text{Ак} * \text{Ек})$$

где  $\text{Бк}$  – значение механического напряжения на ножке камертона из паспорта на камертон,

$\text{Ад} = \Delta * \text{Uоп} / \text{S}$  (мВ) – значение амплитуды колебаний на измерительном канале тензостанции,

$\Delta$  (м/м) – значение регистрируемой деформации на измерительном канале тензостанции приведенное к единице измерения «м/м»,

$\text{S}$  – тензочувствительность схемы измерения ( $\text{S}=2$  для 1/4 мостовой схема),

$\text{Uоп}$  (мВ) - величина опорного напряжения генератора ( $\text{Uоп}=1000$  мВ).

**Ед** (МПа) – модуль упругости исследуемой детали (лопатки ГТД),

**Ак** (мВ) – значение амплитуды колебаний ножки камертона,

**Ек** (МПа) – модуль упругости ножки камертона из паспорта на камертон.

Камертон: Ак, мВ **054.0**  $\sigma_k$ , МПа **000123** Ек, МПа **210000**

Рис. 3.4 Параметры поля «Камертон»

Поле «Тензорезисторы» (Рис. 3.5) определяет для программы следующие параметры: «Штук в ряду», «Начало» и «Шаг».

Тензорезисторы: Штук в ряду **08** Начало, мм **10** Шаг, мм **15**

Рис. 3.5 Параметры поля «Тензорезисторы»

«Штук в ряду» - число тензорезисторов наклеенных на выходную кромку, входную кромку и спинку (параметр определяет диапазон установки от 4 до 8).

«Начало» - координата места расположения перовых в ряду тензорезисторов от подошвы замка (параметр определяет диапазон от 0 до 99 мм).

«Шаг» - шаг установки в ряду тензорезисторов (параметр определяет диапазон от 2 до 99 мм).

Поле «Измерительные каналы от тензорезисторов» (Рис. 3.6) позволяет выбрать измерительный канал по каждой из тензостанций, соответствующей порядковому номеру наклеенного тензорезистора, а также содержит индикаторы, на которых отображаются регистрируемые (по соответствующему измерительному каналу) значения механических напряжений в точках установки тензорезисторов.

Измерительные каналы от тензорезисторов:								
выходной кромки, МПа		входной кромки, МПа		спинки, МПа				
T1_1	0.000	T2_1	0.000	T3_1	0.000			
T1_2	0.000	T2_2	0.000	T3_2	0.000			
T1_3	0.000	T2_3	0.000	T3_3	0.000			
T1_4	0.000	T2_4	0.000	T3_4	0.000			
T1_5	0.000	T2_5	0.000	T3_5	0.000			
T1_6	0.000	T2_6	0.000	T3_6	0.000			
T1_7	0.000	T2_7	0.000	T3_7	0.000			
T1_8	0.000	T2_8	0.000	T3_8	0.000			

Рис. 3.6 Поле «Измерительные каналы от тензорезисторов»

Поле «Ед. измерения» предназначено для выбора отображения значений на индикаторах поля «Измерительные каналы от тензорезисторов» в МПа или кгс/мм<sup>2</sup>.

Поле графиков «Распределение напряжения в лопатке» предназначено для отображения значений, регистрируемых с тензорезисторов нормированных к любому из регистрируемых измерительных каналов тензорезисторов. Выбор канала для нормирования производится в поле «Нормировать по каналу».

В поле «Распределение напряжения в лопатке» отображаются графики для выходной кромки, входной кромки и спинки. При необходимости отображение любого из графиков можно отключить при помощи соответствующего параметра в поле «Отображение».

Поле «Измерение» используется для включения и отключения расчетов, выполняемых программой.

Поля «Сохранить табл.» и «Сохранить график» используются соответственно для сохранения в файл (формат «\*.dtx») зарегистрированных значений соответственно из полей «Измерительные каналы тензорезисторов» либо «Распределение напряжения в лопатке».

### 3.2 Проведение испытаний

Выполните конфигурирование тензостанций согласно требованиям раздела 2.4 и подключите ко входам тензостанции кабели от тензорезисторов наклеенных на лопатку (зафиксированную на вибростенде для проведения испытаний).

Запустите программу «РНЛ ГТД(ZET058).exe».

Укажите с помощью селектора в поле «Ед» значение модуля упругости детали в МПа.

Выберите необходимый режим работы «Тензометр» или «Камертон».

В случае выбора работы в режиме «Камертон» внесите в соответствующие поля программы паспортные значения Бк и Ек, а также значение амплитуды Ак.



*При работе в режиме «Камертон» должно быть предварительно получено значение амплитуды Ак*

В поле «Тензорезисторы» установите количество тензорезисторов в ряду, а также координату первого из них и шаг установки тензорезисторов.

В поле «Измерительные каналы от тензорезисторов» для каждой точки измерения выберите соответствующий ей измерительный канал тензостанции.



*Для удобства идентификации при именовании измерительных каналов рекомендуется составлять имя из номер тензостанции и номера канала по счету к которому подключен тензорезистор например: «Т1\_3» - первая тензостанция третий тензорезистор, «Т3\_5» - третья тензостанция пятый тензорезистор*

Установите режим по частоте в режим «Автомат» и выберите измерительный канал по которому будет производиться измерение частоты возбуждения.

Включите внешний генератор в режиме синусоидальной вибрации с необходимым уровнем амплитуды на требуемой частоте (в соответствии с требованиями по проведению испытаний) подав сигнал возбуждения на вибростенд.

Переведите программу в режим «Измерение» переведя в соответствующем поле кнопку управления в состояние «Включено».

В режима автоматической регистрации частоты выберите измерительный канал от тензорезистора по которому будет детектироваться частота и убедитесь в том, что на индикаторе в поле «Автоматически с канала» значение частоты возбуждения (подаваемой с внешнего генератора) регистрируется устойчиво, в противном случае перейдите на режим по частоте «Ручной» и введите в соответствующее поле значение генерируемой частоты вручную.

В процессе проведения измерений в поле «Измерительные каналы от тензорезисторов» (в зависимости от выбранных единиц измерения) программой будут регистрироваться значения механических напряжений в МПа, либо в кгс/мм<sup>2</sup>, а в поле «Относительное распределение напряжений ...» графики распределения механических

напряжений нормированные к значению одного из выбранных измерительных каналов (Рис. 3.7) (Рис. 3.8).

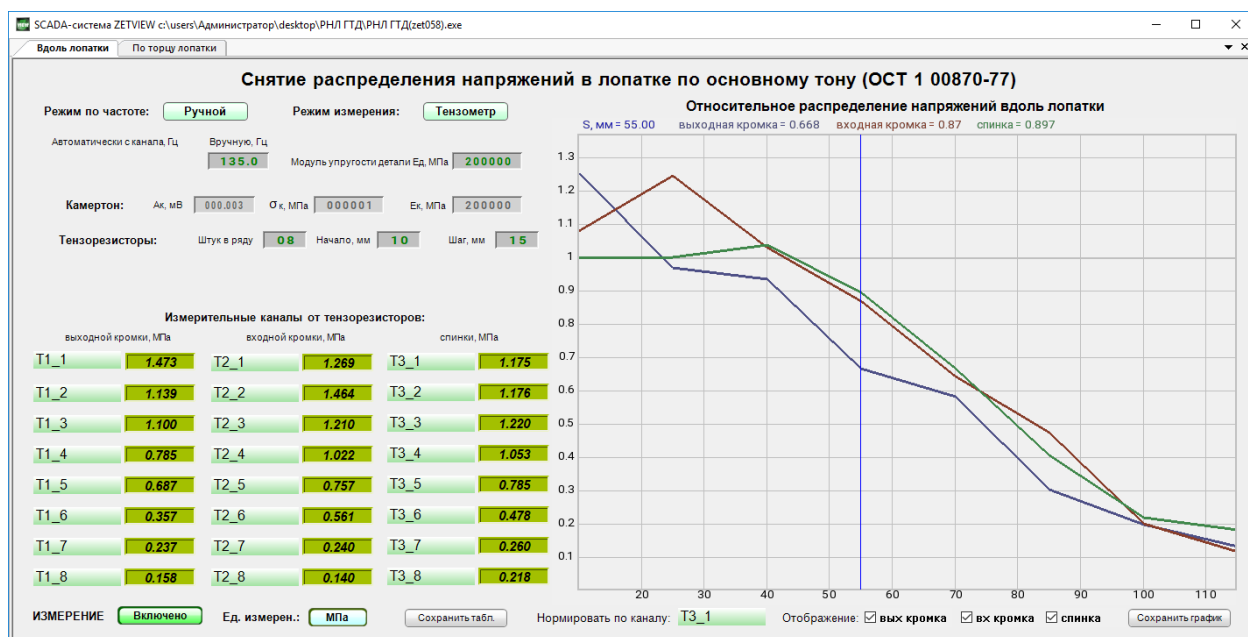


Рис. 3.7 Вкладка «Вдоль лопатки» окна программы «РНЛ ГТД(ZET058)» при проведении измерений

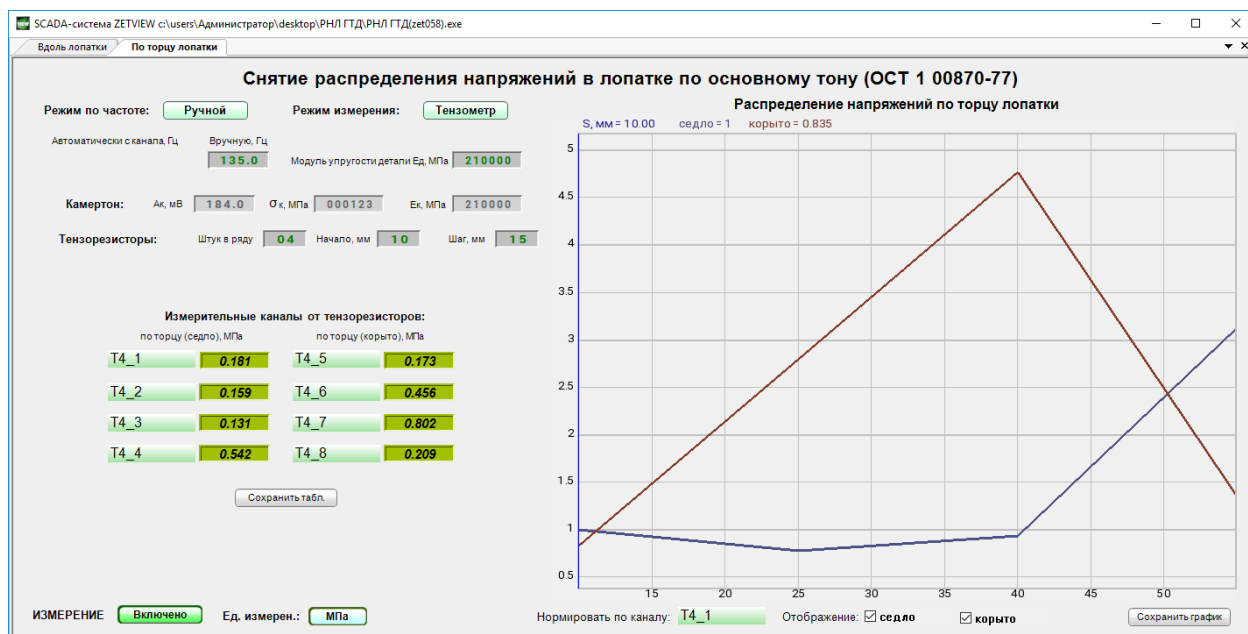


Рис. 3.8 Вкладка «По торцу лопатки» окна программы «РНЛ ГТД(ZET058)» при проведении измерений



В любой момент при проведении измерений можно сохранить в числовом и графическом виде зарегистрированные значения из полей «Измерительные каналы от тензорезисторов» и «Относительное распределение напряжений ...» в файлы (формата «\*.dtx»), активировав соответствующие кнопки «Сохранить табл.» и «Сохранить график».

Просмотр сохраненных файлов (формат «\*.dtx») осуществляется с использованием программы «Просмотр результатов» (из состава ПО ZETLAB). В окне программы «Просмотр результатов» во вкладке «График» (Рис. 3.9) отображается информация в графическом виде, а во вкладке таблица (Рис. 3.10) – в числовом.

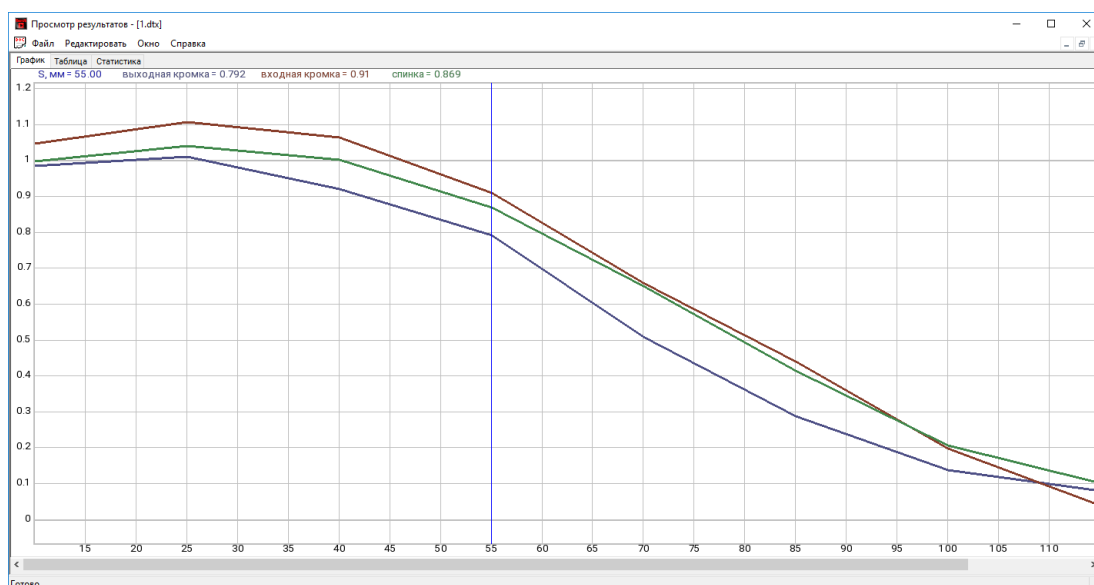


Рис. 3.9 Окно программы «Просмотр результатов», вкладка «График»

Просмотр результатов - [1.dtx]

Файл Редактировать Окно Справка

График Таблица Статистика

<X> =

	X	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
	S, мм	выходная кромка	входная кромка	спинка			
1	10	0.98672	1.04769	0.99767			
2	25	1.01054	1.10826	1.04239			
3	40	0.922102	1.06526	1.00366			
4	55	0.791871	0.909878	0.868986			
5	70	0.509834	0.659587	0.651558			
6	85	0.288929	0.44192	0.41537			
7	100	0.13948	0.199535	0.207629			
8	115	0.0804243	0.039779	0.102207			

Готово

Рис. 3.10 Окно программы «Просмотр результатов», вкладка «Таблица»