

# **ТЕСЛАМЕТР-ВЕБЕРМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТПУ-2В**

Руководство по эксплуатации  
ТПКЛ.411171.010РЭ



## Содержание

1	Описание и работа изделия .....	3
1.1	Назначение изделия .....	3
1.2	Технические характеристики .....	3
1.3	Состав изделия .....	6
1.4	Устройство изделия и его составных частей .....	7
1.5	Маркировка и пломбирование .....	8
1.6	Упаковка .....	9
2	Общие указания по использованию изделия .....	9
2.1	Общие указания по эксплуатации .....	9
2.2	Указания мер безопасности .....	10
2.3	Подготовка к работе .....	11
3	Порядок работы .....	11
3.1	Описание органов управления .....	11
3.2	Выбор режимов работы .....	13
3.3	Работа в режиме «Тесламетр» .....	17
3.4	Работа в режиме «Веберметр» .....	30
3.5	Возможности использования изделия в измерительных системах .....	37
4	Техническое обслуживание .....	38
4.1	Общие указания .....	38
4.2	Порядок технического обслуживания .....	38
5	Текущий ремонт .....	38
6	Хранение .....	38
7	Транспортирование .....	38
	Приложение. ПО «Флюкс-У». Руководство оператора .....	40
1	Назначение ПО .....	40
2	Состав ПО .....	40
3	Технические требования к внешнему компьютеру .....	40
4	Установка программного обеспечения «Флюкс-У» .....	41
5	Описание программного обеспечения «Флюкс-У» .....	41
	Лист регистрации изменений .....	65

Настоящее руководство по эксплуатации содержит сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках тесламетра-веберметра универсального ТПУ-2В (далее по тексту – тесламетр-веберметр) и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации изделия (использования по назначению, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования).

По нормальным условиям применения тесламетр-веберметр соответствует ГОСТ 22261 для температуры окружающего воздуха ( $20 \pm 5$ ) °С.

По рабочим условиям применения и предельным условиям транспортирования тесламетр-веберметр относится к группе 2 по ГОСТ 22261.

Тесламетр-веберметр имеет возможность дистанционного управления от внешнего компьютера.

## **1 ОПИСАНИЕ И РАБОТА ИЗДЕЛИЯ**

### **1.1 Назначение изделия**

1.1.1 Тесламетр-веберметр универсальный ТПУ-2В ТПКЛ.411171.010 изготавливается в соответствии с требованиями ТУ 4222-001-86487402-2014.

1.1.2 Тесламетр-веберметр ТПУ-2В предназначен для измерения магнитной индукции постоянных магнитных полей, максимальных значений магнитной индукции переменных и импульсных магнитных полей, потокосцепления с подключенной к прибору измерительной катушкой. При подключении измерительной катушки с известными числом витков и средней площадью поперечного сечения прибор позволяет проводить измерения магнитного потока через катушку и магнитной индукции. При подключении катушки Гельмгольца с известной постоянной по напряженности магнитного поля прибор позволяет измерять магнитный момент и вычислять намагниченность помещенного в эту катушку образца.

1.1.3 Тесламетр-веберметр ТПУ-2В может применяться при точных исследованиях магнитных полей, создаваемых магнитными системами и электрическими аппаратами различного назначения, и при измерениях магнитных характеристик магнитных материалов в замкнутой и разомкнутой цепи.

### **1.2 Технические характеристики**

1.2.1 Основные характеристики в режиме измерений магнитной индукции с измерительными зондами «М» и «С» (режим «Тесламетр»)

1.2.1.1 Тесламетр-веберметр обеспечивает измерения магнитной индукции постоянных магнитных полей, максимальных значений магнитной индукции переменных и импульсных магнитных полей.

1.2.1.2 Диапазон измерений ..... от 0,01 до 2000 мТл  
на пределах измерений ..... 1; 10; 100 мТл; 1; 10; 100 Тл

1.2.1.3 Диапазон показаний ..... от 1 мкТл до 100 Тл.

Примечание – При значениях магнитной индукции от 1 до 10 мкТл и от 2 до 100 Тл погрешность тесламетра-веберметра не нормируется.

1.2.1.4 Нормальная область частот магнитной индукции переменного магнитного поля ..... от 5 до 2000 Гц.

1.2.1.5 Длительность импульсов импульсного магнитного поля ..... от 100 мкс до 2 с,  
при этом длительность фронта импульсов ..... от 10 мкс до 1 с.

1.2.1.6 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений  $\delta$ , %, не более значений, рассчитанных по приведенным ниже формулам ( $B_{\text{п}}$  – установленный предел измерений, мТл;  $B_{\text{и}}$  – измеренное значение магнитной индукции, мТл):

- при измерении магнитной индукции от 0,01 до 20 мТл постоянного магнитного поля, измерительные зонды «М», «С»

$$\delta = \pm [0,5 + 0,1 \cdot (B_{\text{п}}/B_{\text{и}} - 1)]; \quad (1.1a)$$

- при измерении магнитной индукции свыше 20 до 2000 мТл постоянного магнитного поля, измерительный зонд «М»

$$\delta = \pm [0,5 + 0,05 \cdot (B_{\text{п}}/B_{\text{и}} - 1)]; \quad (1.1б)$$

- при измерении магнитной индукции свыше 20 до 400 мТл постоянного магнитного поля, измерительный зонд «С», формула (1.1б);

- при измерении магнитной индукции свыше 400 до 2000 мТл постоянного магнитного поля, измерительный зонд «С»

$$\delta = \pm 0,5 \cdot (B_{\text{и}}/400); \quad (1.1в)$$

- при измерении максимальных значений магнитной индукции переменных и импульсных магнитных полей (основная относительная погрешность  $\delta_0$ , %):

$$\delta_0 = \pm [1,0 + 0,1 \cdot (B_{\text{п}}/B_{\text{и}} - 1)]; \quad (1.2)$$

1.2.1.7 Рабочая область частот магнитной индукции переменного магнитного поля ..... от 2 до 5 кГц.

1.2.1.8 Пределы дополнительной относительной погрешности измерений магнитной индукции в рабочей области частот,  $\delta_{\text{доп}}$ , %, не более значений, рассчитанных по (1.3):

$$\delta_{\text{доп}} = \pm [1,5 \cdot (f - 2)], \quad (1.3)$$

где  $f$  – безразмерная величина, численно равная частоте измеряемой магнитной индукции, кГц.

1.2.1.9 Частотный диапазон показаний магнитной индукции переменного магнитного поля ..... от 5 до 35 кГц.

Примечание – При частоте переменного магнитного поля от 5 до 35 кГц погрешность измерений магнитной индукции не нормируется.

1.2.2 Основные характеристики в режиме измерений магнитной индукции с измерительным зондом «И» (режим «Тесламетр»)

1.2.2.1 Диапазон измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля в зависимости от установленного времени измерений ..... от 0,01 до 10 Тл.

1.2.2.2 Диапазон измерений максимальных значений магнитной индукции переменного магнитного поля, приведенный к частоте 50 Гц, ..... от 10 мкТл до 1 Тл на пределах измерений ..... 1; 10; 100 мТл; 1; 10; 100 Тл в диапазоне частот ..... от 10 до 10000 Гц.

Примечание 1 – Верхние пределы измерений постоянного и переменного магнитных полей определяются допускаемым входным напряжением блока усилителя, см. 3.4.4, таблица 3.2. Их следует выбирать с учетом ожидаемой скорости изменения (частоты) измеряемого магнитного поля.

Примечание 2 – На частотах  $f$ , Гц, измеряемого переменного магнитного поля верхнее и нижнее значения диапазона измерений определяются путем умножения на коэффициент  $50/f$ .

1.2.2.3 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений магнитной индукции переменного поля  $\delta$ , %, не более значений, рассчитанных по формуле ( 1.2 ).

1.2.3 Основные характеристики в режиме измерений с измерительными катушками (режим «Веберметр»)

1.2.3.1 Диапазон измерений потокосцепления ..... от 1 мкВ·с до 10 В·с на пределах измерений ..... 0,1; 1; 10; 100 мВ·с; 1; 10 В·с в диапазоне интегрируемых напряжений ..... от 1 мкВ до 8 В.

1.2.3.2 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений потокосцепления  $\delta$ , %, не более значений, рассчитанных по формуле ( 1.4 ), где  $\Psi_n$  – установленный предел измерений;  $\Psi_n$  – показание прибора:

$$\delta = \pm [1,0 + 0,1 \cdot (\Psi_n / \Psi_n - 1)] \quad (1.4)$$

1.2.3.3 Диапазон показаний при измерениях потокосцепления ..... от 0,1 до 1 мкВ·с.

Примечание – Для значений потокосцепления от 0,1 до 1 мкВ·с погрешность тесламетра-веберметра не нормируется.

1.2.3.4 Время интегрирования:

..... 100; 500 мкс; 1; 5; 10; 50; 100; 200; 500 мс; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50 с.

1.2.4 Тесламетр-веберметр имеет функции пересчета измеренных значений магнитной индукции в свободном пространстве в напряженность магнитного поля в соответствии с соотношениями

$$B [\text{Тл}] = \mu_0 H [\text{А/м}]; \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}; \quad 1 \text{ мкТл} = 0,7958 \text{ А/м}; \quad 1 \text{ А/м} = 1,2566 \text{ мкТл}$$

и индикации значений напряженности магнитного поля в единицах А/м, А/см.

1.2.5 Тесламетр-веберметр имеет функции выполнения серии измерений с количеством измерений в серии от 1 до 10, а также вычисления и индицирования результата каждого единичного измерения, среднего арифметического значения и среднеквадратического отклонения (СКО).

Примечание – Под единичным измерением понимается результат статистической обработки выборки из ряда измерений с интервалами, определяемым частотой дискретизации 2,5 МГц.

1.2.6 Время усреднения определяется частотой дискретизации с учетом заложенной в программу обработки данных функции прескалера. Оно устанавливается дискретно оператором и в зависимости от вида измеряемого магнитного поля задается следующими параметрами:

- постоянное магнитное поле – время измерений: ..... 0,1, 0,8, 1,6, 6,4, 12,8, 25,6 с;

- переменное магнитное поле – частотный диапазон: ..... 70, 35, 18, 8, 4, 2 кГц;

- импульсное магнитное поле – минимальная длительность

импульса: ..... 6, 50, 100, 400, 800, 1600 мкс.

1.2.7 Тесламетр-веберметр имеет возможность управления от внешнего компьютера через интерфейс USB, для чего служит ПО «Флюкс-У», входящее в комплект поставки прибора.

1.2.8 Время установления рабочего режима при постоянных внешних условиях не превышает ..... 5 мин.

1.2.9 Время непрерывной работы тесламетра-веберметра не менее ..... 8 ч.

1.2.10 Электропитание тесламетра-веберметра осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22)$  В и частотой  $(50 \pm 1)$  Гц.

1.2.11 Мощность, потребляемая тесламетром-веберметром при номинальных напряжении и частоте электропитания, не более ..... 40 ВА.

#### 1.2.12 Рабочие условия применения:

- температура окружающего воздуха ..... от + 10 до + 35 °С;
- относительная влажность воздуха ..... 80 % при температуре + 25 °С;
- атмосферное давление ..... от 70 до 106,7 кПа.

1.2.13 Тесламетр-веберметр в упаковке для транспортирования тепло-, холодо- и влаготрочен при предельных условиях транспортирования:

- температура окружающего воздуха ..... от минус 25 до + 55 °С;
- относительная влажность воздуха ..... 95 % при температуре + 25 °С;
- атмосферное давление ..... от 70 до 106,7 кПа.

1.2.14 Тесламетр-веберметр в упаковке для транспортирования прочен к транспортной тряске с параметрами:

- число ударов в минуту ..... до 120;
- максимальное ускорение ..... 30 м/с<sup>2</sup>.

1.2.15 Тесламетр-веберметр соответствует требованиям электромагнитной совместимости, установленным ГОСТ Р 51522.1-2011 для оборудования класса В.

1.2.16 Тесламетр-веберметр соответствует требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.091-2012 и по способу защиты от поражения электрическим током относится к классу I по ГОСТ 12.2.007.0-75.

1.2.17 Габаритные размеры блока измерительного тесламетра-веберметра (ширина × длина × высота) не более ..... 345 × 370 × 170 мм.

1.2.18 Габаритные размеры блока усилителя (ширина × длина × высота) не более ..... 60 × 75 × 40 мм.

#### 1.2.19 Габаритные размеры измерительных зондов:

- измерительного зонда «С» (диаметр × длина) не более ..... 20 × 275 мм;
- измерительного зонда «М» (диаметр × длина) не более ..... 20 × 300 мм;
- измерительного зонда «И» (диаметр × длина) не более ..... 12 × 200 мм.

#### 1.2.20 Габаритные размеры рабочей части измерительных зондов:

- «С» (диаметр × длина) не более ..... 5,5 × 82 мм;
- «М», «И» (ширина × толщина × длина) не более ..... 6 × 1,5 × 105 мм;

#### 1.2.21 Длина кабелей, не менее:

- измерительных зондов ..... 1,5 м;
- блока усилителя ..... 0,5 м;
- связи с ПЭВМ, интерфейс USB, ..... 1,8 м;
- сетевого кабеля ..... 1,8 м.

#### 1.2.22 Масса, не более:

- полная, в т.ч.: ..... 7,6 кг
- блока измерительного ..... 6,8 кг;
- блока усилителя ..... 0,25 кг;
- измерительного зонда «М», «С» ..... 0,16 кг;
- измерительного зонда «И» ..... 0,07 кг.

1.2.23 Защита ПО тесламетра-веберметра соответствует уровню «высокий» по Р 50.2.077-2014, недокументированные возможности ПО «Флюкс-У» отсутствуют.

### 1.3 Состав изделия

1.3.1 Тесламетр-веберметр ТПУ-2В включает в себя блок измерительный, блок усилителя, измерительные зонды «М», «С», «И».

1.3.2 В комплекте с ТПУ-2В поставляются: кабель усилителя; кабель связи с ПЭВМ, интерфейс USB; сетевой кабель электропитания; компакт-диск с программным обеспечением «Флюкс-У»; магнитный цилиндрический экран, коэффициент экранирования не менее 100.

#### **1.4 Устройство изделия и его составных частей**

1.4.1 Работа тесламетра-веберметра в режиме измерений магнитной индукции «Тесламетр» основана на преобразовании составляющей вектора магнитной индукции, перпендикулярной плоскости первичного измерительного преобразователя Холла, в ЭДС Холла. Работа тесламетра-веберметра в режиме измерений «Веберметр» с измерительными катушками основана на цифровом интегрировании за заданный отрезок времени ЭДС самоиндукции, которая наводится в измерительной катушке при изменении потока магнитной индукции, перпендикулярного плоскости катушки, за указанный отрезок времени.

1.4.2 В состав тесламетра-веберметра ТПУ-2В входят блок измерительный, блок усилителя, два измерительных зонда с преобразователями Холла «М» и «С», зонд с измерительной катушкой «И».

1.4.3 В блоке измерительном тесламетра-веберметра расположены: блок управления; стабилизатор тока питания преобразователей Холла; блок цифровой обработки измерительной информации, в т.ч. цифровой интегратор; блок представления команд, служебной и измерительной информации, включающий в себя в том числе жидкокристаллический дисплей MTF-TQ 57SP741-AV; источники питания элементов схемы.

1.4.4 Основным узлом блока измерительного является блок цифровой обработки измерительной информации. Он выполнен на базе АРМ-процессора SiM3U167 компании Silicon Labs. В процессор «зашивается» программа цифровой обработки информации (при изготовлении прибора) и вносятся через внешний интерфейс, недоступный пользователю, результаты градуировки тесламетра-веберметра с измерительными зондами «М», «С», «И» (при настройке прибора). Пользователь при эксплуатации прибора имеет возможность заносить в процессор данные используемых им измерительных катушек и устанавливать время интегрирования и другие переменные параметры измерений.

1.4.5 Тактовый генератор блока цифровой обработки измерительной информации создан на базе кварцевого генератора VX7 на частоту 20 МГц. Относительная суммарная нестабильность частоты генератора, включающая в себя долговременную за 1 год, температурную в рабочем диапазоне температур тесламетра-веберметра, нестабильности, обусловленные другими влияющими факторами, не превышает  $5 \cdot 10^{-5}$ .

1.4.6 Интегрирование входного сигнала в режиме работы прибора «Веберметр» происходит следующим образом. После запуска процесса измерений тесламетр-веберметр определяет шумовые характеристики сигнала, поступающего с блока усилителя, и, в зависимости от настроек запуска измерений, либо сразу запускает процесс интегрирования, либо ждет превышения порога в 5 значений СКО, которое свидетельствует о появлении на входе блока усилителя измерительного сигнала. Оператор задает время интегрирования, в течение которого цифровой интегратор накапливает сигнал. Длительность элементарного отрезка времени, которые, суммируясь, составляют время интегрирования, определяется частотой дискретизации, т.е. частотой тактового генератора. Поэтому погрешность установки времени интегрирования определяется, главным образом, погрешностью частоты тактового генератора.

1.4.7 Для дистанционного управления тесламетром-веберметром с использованием внешнего компьютера предназначено ПО «Флюкс-У», которое на компакт-диске входит в комплект поставки прибора. Подробное описание ПО и выполняемые с его помощью задачи приведены в Приложении 1 «ПО «Флюкс-У». Руководство оператора».

#### 1.4.8 Измерительные зонды тесламетра-веберметра

1.4.8.1 Зонд «С» с цилиндрической рабочей частью предназначен для измерения составляющей вектора магнитной индукции, которая параллельна продольной оси зонда. Пластина преобразователя Холла в этом зонде расположена перпендикулярно продольной оси рабочей части зонда на расстоянии  $(2 \pm 0,5)$  мм от ее торца.

1.4.8.2 Зонд «М» с плоской рабочей частью предназначен для измерения составляющей вектора магнитной индукции, которая перпендикулярна плоскости рабочей части зонда. Пластина преобразователя Холла расположена в плоскости рабочей части зонда, центр пластины находится на расстоянии  $(4 \pm 0,5)$  мм от торца рабочей части и на расстоянии  $(3 \pm 0,5)$  мм от ее боковой грани.

1.4.8.3 Зонд «И» с плоской рабочей частью предназначен для измерения составляющей вектора магнитной индукции, которая перпендикулярна плоскости рабочей части зонда, индукционным методом. Центр плоской четырехслойной измерительной катушки прямоугольной формы со средней площадью  $14,8 \text{ мм}^2$  и количеством витков 28 (постоянная катушки  $SW = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ) расположен на расстоянии  $(3,5 \pm 0,2)$  мм от торца рабочей части и на расстоянии  $(2,7 \pm 0,2)$  мм от ее боковой грани.

Рабочие части всех измерительных зондов снабжены съемными защитными колпачками.

1.4.9 В рабочей части измерительных зондов «М», «С», которая выполнена из немагнитного непроводящего материала, смонтирован измерительный преобразователь Холла ИМ104А-1 размерами  $1,5 \times 1,5 \times 0,6$  мм, его токовые и потенциальные выводы для уменьшения индукционных наводок попарно свиты с шагом скрутки не менее 5 вит/см. В ручке измерительного зонда расположен усилитель выходного сигнала преобразователя Холла. Питание преобразователя Холла и передача выходного сигнала преобразователя Холла после его усиления в электронный блок осуществляются по витым экранированным проводам кабеля зонда.

1.4.10 При работе тесламетра-веберметра в режиме измерений с измерительным зондом «И» и измерительными катушками пользователя (режим «Веберметр») зонд «И» (измерительную катушку пользователя) подключают к блоку усилителя при помощи штекера mini XLR 4P Female, который входит в комплект поставки прибора. ЭДС, которая вызвана изменением во времени составляющей вектора магнитной индукции, перпендикулярной плоскости витков измерительной катушки, поступает на входную RC-цепь блока усилителя и после усиления – в блок измерительный, где производится цифровая обработка сигнала и его интегрирование. Для связи блока усилителя и блока измерительного служит кабель блока усилителя.

1.4.11 При введении с передней панели блока измерительного тесламетра-веберметра количества витков измерительной катушки может быть вычислен магнитный поток через нее, при введении средней площади поперечного сечения катушки – также составляющая вектора магнитной индукции, перпендикулярная плоскости катушки.

1.4.12 При подключении к блоку усилителя катушки Гельмгольца и введении с передней панели тесламетра-веберметра ее постоянной по напряженности магнитного поля (в единицах ампер/метр, деленный на ампер,  $\text{м}^{-1}$ ) тесламетр-веберметр позволяет проводить измерения магнитного момента и намагниченности образцов, в частности, магнитотвердых материалов по методикам МЭК 60404-14.

### 1.5 Маркировка и пломбирование

1.5.1 На переднюю панель блока измерительного тесламетра-веберметра ТПУ-2В нанесены следующие маркировочные обозначения:

- надпись ТЕСЛАМЕТР-ВЕБЕРМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТПУ-2В;

- товарный знак предприятия-изготовителя;
- знак утверждения типа средств измерений;
- обозначение выключателя сетевого питания;
- обозначение разъема ВХОД для подключения измерительных зондов «М», «С» и блока усилителя;
- обозначения кнопок управления тесламетром-веберметром (установления режимов работы и пределов измерений, ввода числовых данных).

1.5.2 На заднюю панель блока измерительного тесламетра-веберметра ТПУ-2В нанесены следующие маркировочные обозначения:

- условное обозначение тесламетра-веберметра;
- обозначение разъема USB для подключения компьютера;
- обозначение клеммы заземления;
- порядковый номер по системе нумерации предприятия-изготовителя;
- год изготовления;
- обозначение ТУ 4222-001-86487402-2014.
- степень защиты от проникновения твердых предметов и воды, обеспечиваемая оболочками тесламетра-веберметра;
- напряжение, потребляемая мощность, частота электропитания.

1.5.3 Тесламетр-веберметр опломбирован в соответствии с конструкторской документацией.

## **1.6 Упаковка**

1.6.1 Упаковка тесламетра-веберметра ТПУ-2В производится согласно требованиям категории КУ-3 по ГОСТ 23170-78 для группы III, вариант защиты ВЗ-0, вариант упаковки ВУ-5 в соответствии ГОСТ 9.014-2005.

1.6.2 Упаковка производится в закрытых вентилируемых помещениях с температурой окружающего воздуха от + 15 до + 40°C и относительной влажностью воздуха до 80 % при температуре 20°C и содержанием в воздухе коррозионно-активных агентов, не превышающих установленного для атмосферы типа I ГОСТ 15150-69.

## **2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИЗДЕЛИЯ**

### **2.1 Общие указания по эксплуатации**

2.1.1 После распаковки тесламетра-веберметра необходимо произвести внешний осмотр изделия и убедиться в отсутствии внешних повреждений. Необходимо также убедиться в наличии полного комплекта согласно формуляру и в том, что заводские номера на блоке усилителя и на измерительных зондах «М», «С» «И» совпадают с заводским номером на блоке измерительном тесламетра-веберметра.

2.1.2 Работа прибора должна происходить в условиях, которые не выходят за пределы рабочих условий эксплуатации.

Питающая сеть не должна иметь резких скачков напряжения, рядом с рабочим местом не должно быть источников сильных электромагнитных помех.

2.1.3 После пребывания ТПУ-2В в условиях, не соответствующих рабочим, необходимо перед включением выдержать его не менее 4 ч в условиях, соответствующих рабочим.

2.1.4 Выбор положения измерительного зонда в магнитном поле

2.1.4.1 При использовании тесламетра-веберметра необходимо иметь в виду, что правильный отсчет может быть сделан только тогда, когда вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости преобразователя Холла (измерительной катушки).

Отсчет  $b_x$  на экране тесламетра-веберметра и истинное значение магнитной индукции  $B_x$  связаны между собой следующим соотношением:

$$b_x = B_x \cdot \cos\alpha, \quad (2.1)$$

где  $\alpha$  – угол между вектором магнитной индукции и перпендикуляром к плоскости преобразователя.

Погрешность измерений  $\gamma$  в процентах, вызванная неверной ориентацией измерительного зонда в магнитном поле, определяется по формуле:

$$\gamma = (1 - \cos\alpha) \cdot 100 \%. \quad (2.2)$$

Из формулы ( 2.2 ) следует, что при углах  $\alpha$ , не превышающих  $\pm 4^\circ$ , погрешность измерений, обусловленная неверной ориентацией зонда, лежит в пределах  $\pm 0,25 \%$ . При дальнейшем увеличении угла  $\alpha$  эта погрешность быстро возрастает и может значительно исказить результаты измерения. Кроме того, возможно появление составляющей погрешности измерений, обусловленной планарным эффектом Холла.

При многократных измерениях магнитных полей одинаковых конфигураций желательно изготовить специальные насадки на зонды тесламетра-веберметра для их фиксации в магнитной системе.

2.1.4.2 Нередко при изучении магнитных полей бывает необходимо определить значения магнитной индукции в различных точках пространства. В этом случае необходимо поместить измерительный зонд в заданную точку и, поворачивая его вокруг осей, найти положение, при котором показания тесламетра-веберметра максимальны.

2.1.5 Названия измерительный зонд «С» (зонд для соленоидов) и измерительный зонд «М» (зонд для магнитов) условны. При эксплуатации прибора могут встречаться случаи, когда, например, будет удобно измерять поле какого-либо магнита зондом «С» или, наоборот, поле соленоида зондом «М».

2.1.6 При измерениях магнитного поля на поверхности постоянного магнита или любого намагниченного объекта следует иметь в виду следующее:

1) чем дальше плоскость измерительного преобразователя Холла от поверхности, на которой производится измерение магнитной индукции, тем более отличается результат измерения от истинного значения магнитной индукции на поверхности исследуемого объекта;

2) остаточное напряжение преобразователя Холла чувствительно к действующим на преобразователь механическим и тепловым нагрузкам. Поэтому на нижнем пределе измерений даже при незначительном давлении плоскости измерительного зонда с преобразователем Холла на исследуемую поверхность возможно некоторое смещение показаний тесламетра-веберметра.

2.1.7 Для обеспечения возможности дистанционного управления прибором и расширения его функциональных возможностей использовать внешний компьютер и программное обеспечение «Флюкс-У» тесламетра-веберметра ТПУ-2 (Приложение 1). Компакт-диск с этим ПО входит в комплект поставки прибора.

2.1.8 Для подключения измерительных катушек использовать разъемы mini XLR 4P Female, которые входят в комплект поставки прибора, контакты 1, 4.

## 2.2 Указания мер безопасности

2.2.1 Перед началом работы с ТПУ-2В необходимо ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

2.2.2 Все работы, связанные с эксплуатацией и обслуживанием ТПУ-2В, выполнять в соответствии с РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ Р М-016-2001)».

2.2.3 К эксплуатации и обслуживанию ТПУ-2В допускается технический персонал, имеющий навыки работы с средствами электрических и радиотехнических измерений и знакомый с ПЭВМ на уровне пользователя.

## 2.3 Подготовка к работе

2.3.1 Подключить ТПУ-2В к сети электропитания, включить его.

2.3.2 При работе с внешним компьютером соединить компьютер с прибором и установить программное обеспечение, для чего выполнить операции, которые указаны в 4 Приложения «ПО «Флюкс-У». Руководство оператора».

## 3 ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 3.1 Описание органов управления

3.1.1 Внешний вид передней панели блока измерительного тесламетра-веберметра ТПУ-2В представлен на рисунке 3.1. Отображение реализуемых функций, параметров измерений и измеряемых величин, других переменных, а также результатов измерений производится на дисплее прибора. Управление осуществляется с помощью клавиатуры.

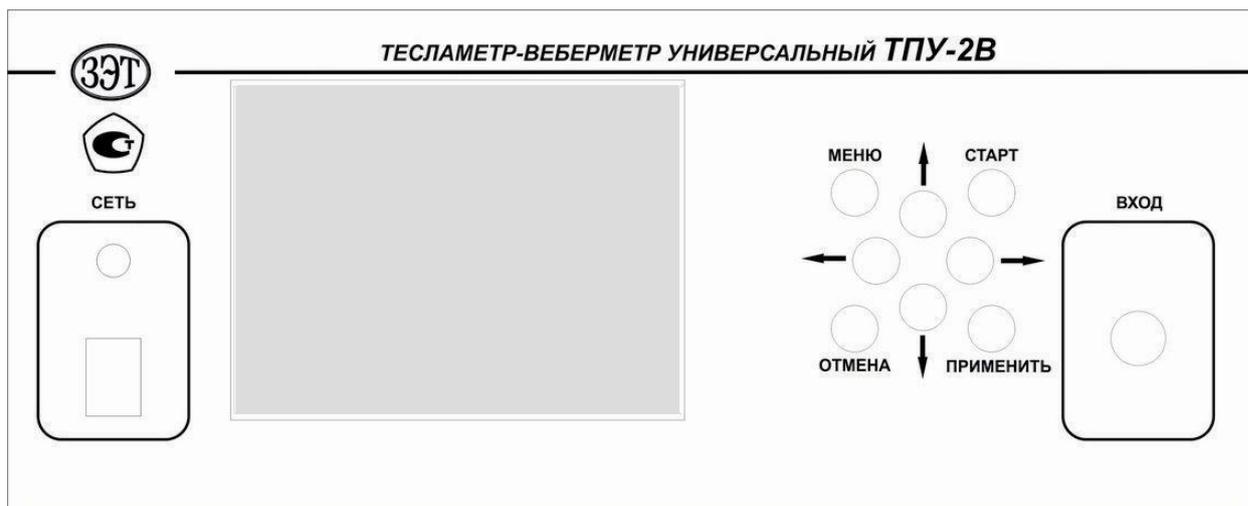


Рисунок 3.1. Внешний вид лицевой панели ТПУ-2В

Назначение клавиш клавиатуры ТПУ-2В:

- Клавиши «Вправо», «Влево», «Вверх» и «Вниз» служат для навигации в меню и по результатам измерений. Выбор параметра (например, предела измерения или количества измерений в серии) осуществляют кнопками «Вправо» или «Влево». Все параметры выбираются циклически: когда выбран последний элемент, следующее нажатие кнопки «Вправо» приведет к выбору первого элемента, также циклически выбираются элементы меню – в случае, если выбран последний (или первый) элемент меню, то нажатие кнопки «Вниз» (или «Вверх») приведет к установке.

- Клавиша «Меню» вызывает или закрывает меню прибора.
- Клавиша «Старт» запускает процесс измерений.
- Клавиша «Применить» служит для выбора различных настроек в меню или при отображении результатов измерений.

- Клавиша «Отмена» предназначена для прерывания процесса измерений или возврата в более старший элемент меню.

3.1.2 Общая структура меню тесламетра-веберметра ТПУ-2В в режиме работы «Тесламетр» (см. 3.2.1.1) приведена на рисунке 3.2. Режим работы «Веберметр» (см. 3.2.1.2) в части структуры меню отличается лишь деталями, см. рисунок 3.3.

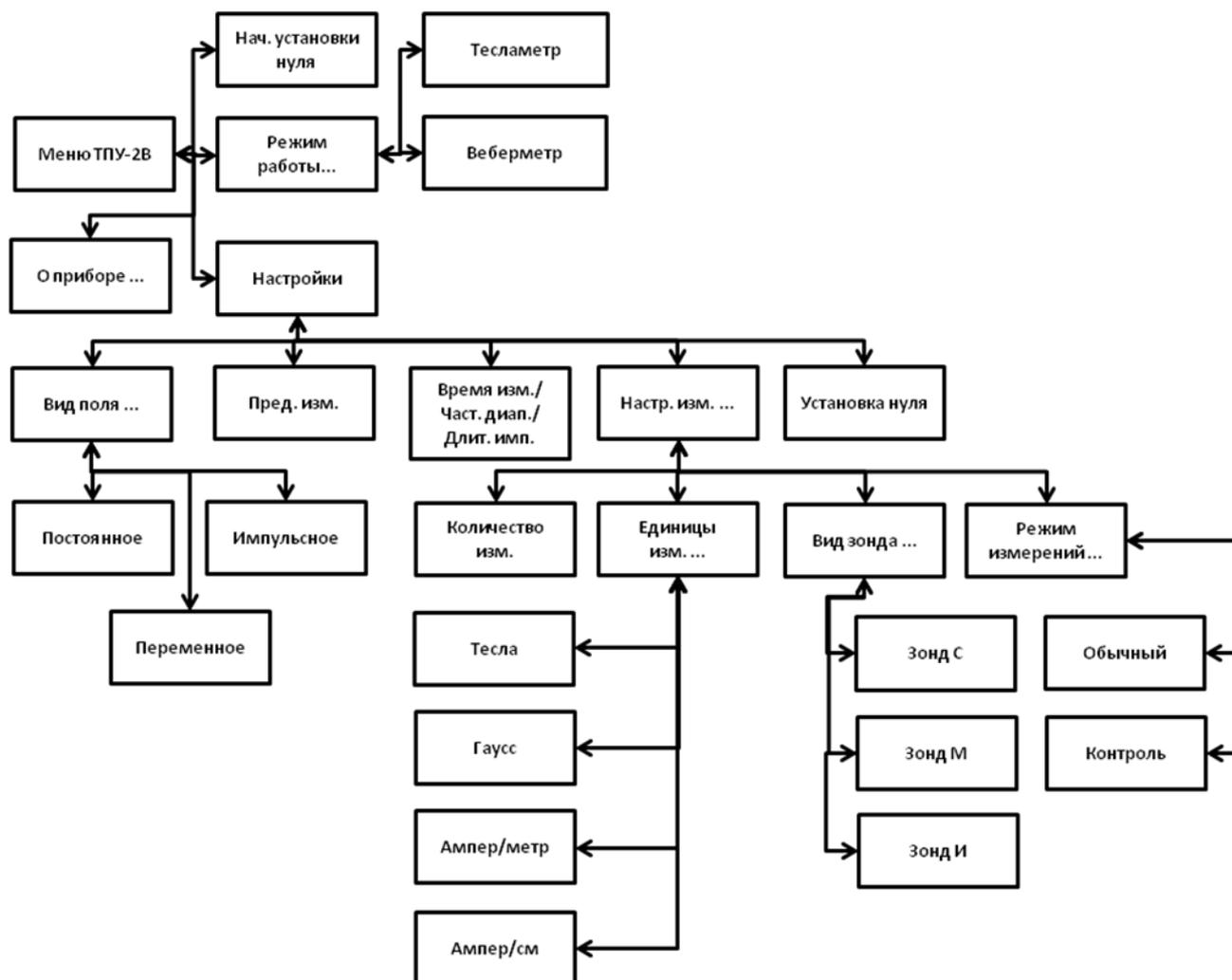


Рисунок 3.2. Структура меню тесламетра-веберметра ТПУ-2В. Режим «Тесламетр»

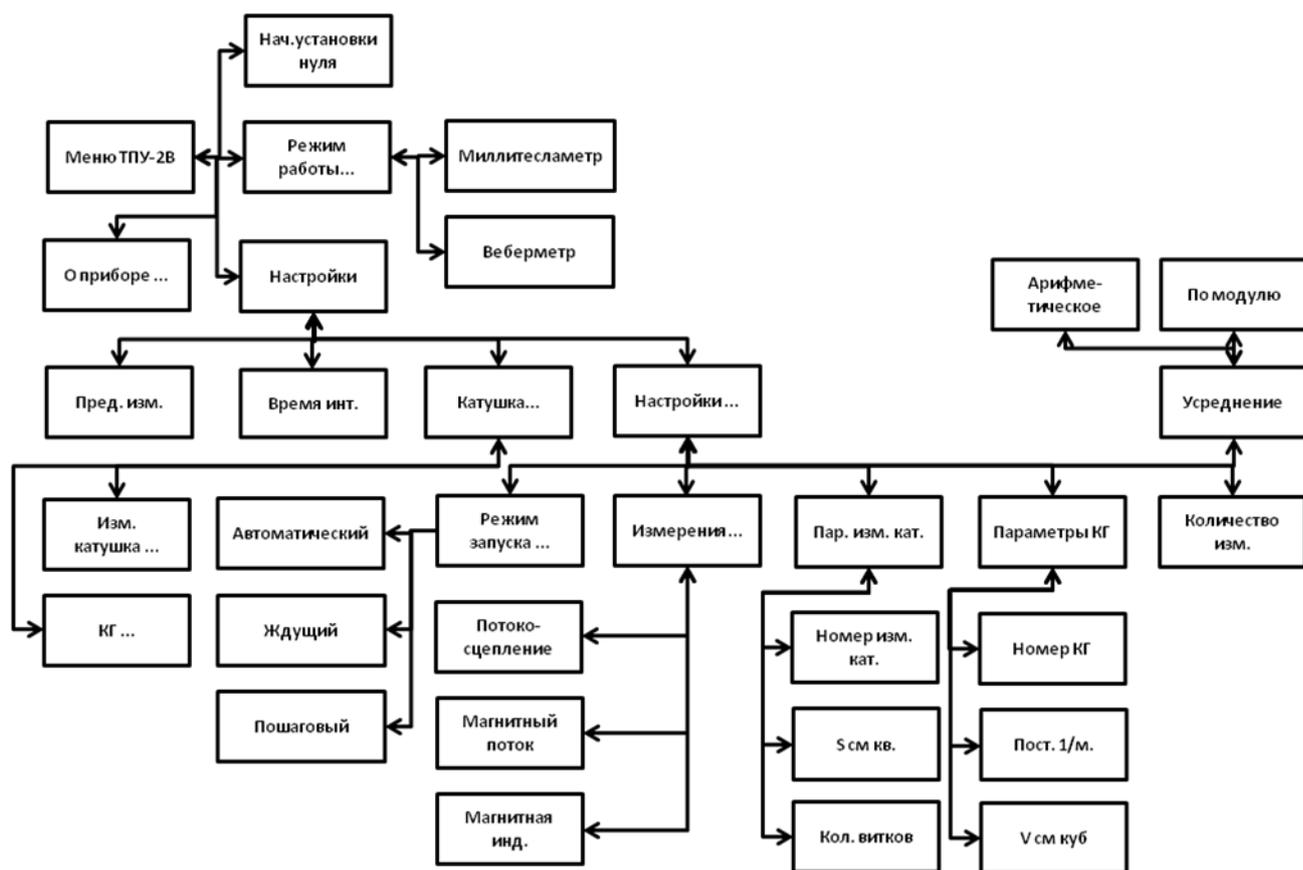


Рисунок 3.3. Структура меню тесламетра-веберметра ТПУ-2В. Режим «Веберметр»

### 3.2 Выбор режимов работы

3.2.1 Тесламетр-веберметр ТПУ-2В допускает работу в двух режимах: «Тесламетр»; «Веберметр».

3.2.1.1 В режиме «Тесламетр» прибор выполняет функции измерений магнитной индукции постоянных магнитных полей, максимальных значений магнитной индукции переменных и импульсных магнитных полей с использованием измерительных зондов «М», «С», «И». Для работы в этом режиме:

1) подключить к блоку измерительному тесламетра-веберметра измерительный зонд «М» или «С»;

2) для работы с измерительным зондом «И» подключить к блоку измерительному тесламетра-веберметра блок усилителя с подсоединенным к его входу зондом «И»;

3) расположить измерительный зонд так, чтобы измерительный преобразователь оказался в требуемой точке измеряемого магнитного поля, причем плоскость преобразователя должна быть перпендикулярна вектору магнитной индукции (см. 2.1.4.1);

4) руководствуясь указаниями 3.3.9 – 3.3.11 либо, при работе с внешним компьютером, 5.3.1 – 5.3.3 приложения «ПО «Флюкс-У». Руководство оператора», выполнять требуемые операции и производить отсчет показаний тесламетра-веберметра на дисплее прибора или мониторе компьютера. При необходимости, используя внешний компьютер, производить сохранение полученной измерительной информации либо передачу ее во внешние каналы связи.

3.2.1.2 В режиме «Веберметр» прибор выполняет функции: измерений потокосцепления, магнитного потока, магнитной индукции с использованием измерительных катушек пользователя; измерений магнитного момента либо намагниченности образцов магнитотвер-

дых материалов с использованием катушек Гельмгольца по методикам МЭК 60404-14 «Магнитные материалы. Часть 14. Методы измерений магнитного дипольного момента образцов ферромагнитных материалов выдергиванием или разворотом». Для выполнения указанных функций следует подключить к блоку измерительному тесламетра-веберметра блок усилителя и выполнять следующие операции:

1) для измерений потокосцепления, магнитного потока, магнитной индукции с измерительной катушкой пользователя подсоединить ее к блоку усилителя, используя разъем mini XLR 4P Female из комплекта поставки прибора. Далее; руководствуясь указаниями 3.4.4 либо, при работе с внешним компьютером, 5.3.4 приложения «ПО «Флюкс-У». Руководство оператора», выполнять требуемые операции и производить отсчет показаний тесламетра-веберметра на дисплее прибора или мониторе компьютера. При необходимости, используя внешний компьютер, сохранять в нем полученную измерительную информацию либо передавать ее во внешние каналы связи;

2) для измерений магнитного момента или намагниченности образцов магнитотвердых материалов подсоединить к блоку усилителя катушку Гельмгольца с известной постоянной по напряженности магнитного поля. Далее; руководствуясь указаниями 3.4.4 либо, при работе с внешним компьютером, 5.3.4 приложения «ПО «Флюкс-У». Руководство оператора», выполнять требуемые операции и производить отсчет показаний тесламетра-веберметра на дисплее прибора или мониторе компьютера. При необходимости, используя внешний компьютер, сохранять в нем полученную измерительную информацию либо передавать ее во внешние каналы связи.

3.2.2 При включении ТПУ-2В в зависимости от режима работы прибора (режим «Тесламетр» или режим «Веберметр») будет показано одно из следующих окон (см. рисунок 3.4 и рисунок 3.5 соответственно).

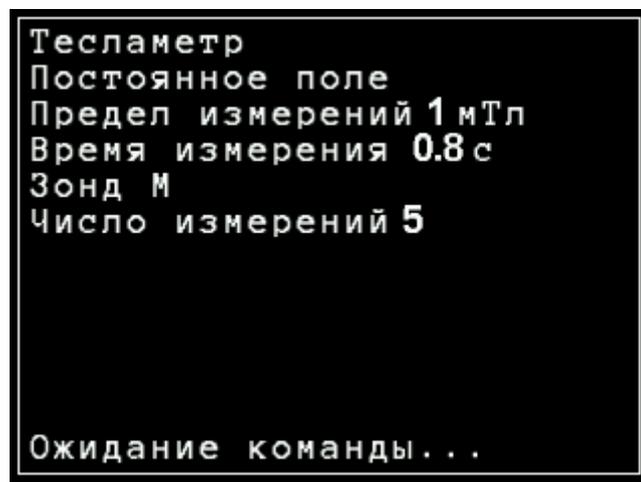


Рисунок 3.4. Главное окно ТПУ-2В в режиме «Тесламетр»

В окне на рисунке 3.4 показаны следующие основные параметры и режимы (по порядку сверху вниз):

- режим работы («Тесламетр»);
- вид измеряемого магнитного поля («Постоянное поле»);
- предел измерений;
- время измерения / частотный диапазон / длительность импульса (в зависимости от вида измеряемого магнитного поля);
- назначение (вид) измерительного зонда;
- число измерений в серии.

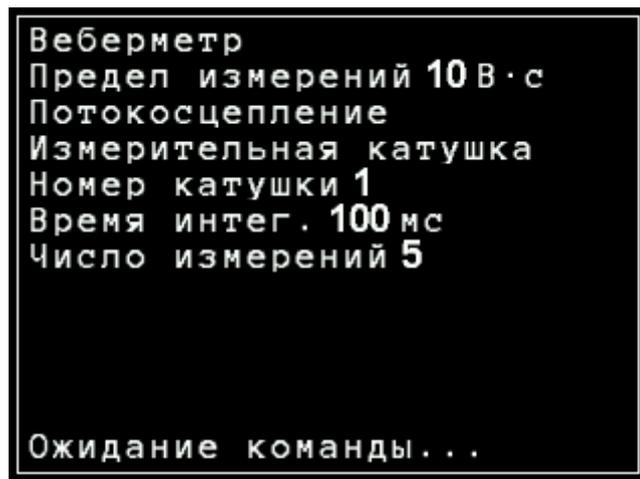


Рисунок 3.5. Главное окно ТПУ-2В в режиме «Веберметр»

В окне на рисунке 3.5 показаны следующие основные параметры и режимы (по порядку сверху вниз):

- режим работы («Веберметр»);
- предел измерений;
- измеряемая величина (Потокосцепление);
- тип измерительной катушки (измерительная катушка или катушка Гельмгольца);
- номер используемой катушки;
- время интегрирования;
- число измерений.

3.2.3 Чтобы попасть в меню переключения режимов работы прибора «Тесламетр»/«Веберметр», следует нажать клавишу «Отмена». После этого будет отображено меню самого верхнего уровня, которое позволяет изменять режим ТПУ-2В (см. рисунок 3.6). Используя клавиши «Вверх» или «Вниз» на передней панели измерительного блока, выбрать пункт «Режим работы» и нажать клавишу «Применить» или «Вправо». В открывшемся меню (см. рисунок 3.7) клавишами «Вверх» или «Вниз» установить выбранный режим работы прибора и нажать клавишу «Применить». Также из меню верхнего уровня есть доступ к информации о приборе (подменю «О приборе ...», рисунок 3.7а), доступ к меню настроек прибора для выбранного режима работы (элемент меню «Настройки ...») и элемент меню для возврата к начальным установкам нуля при использовании зондов «М» и «С», режим «Тесламетр» (элемент меню «Нач. установки нуля»). Подробнее об этом элементе меню будет сказано в 3.3.9.3.

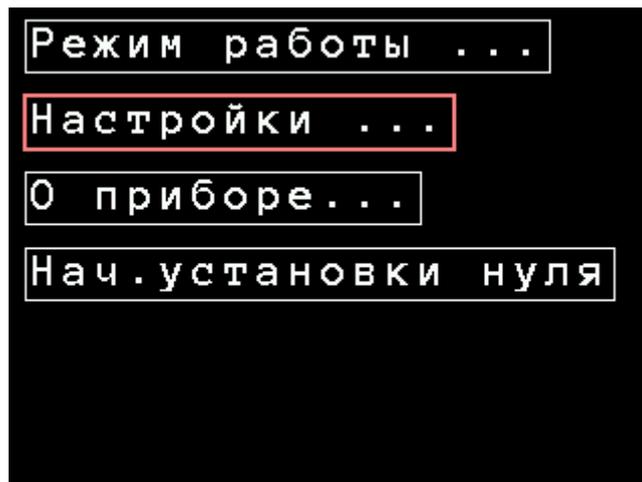


Рисунок 3.6. Меню верхнего уровня

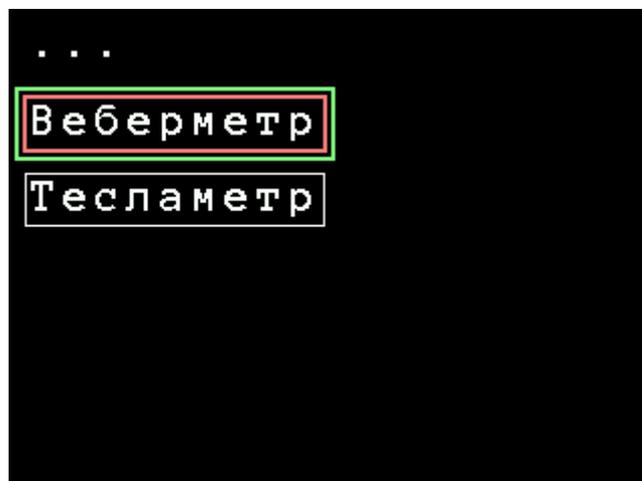


Рисунок 3.7. Меню выбора режима работы ТПУ-2В

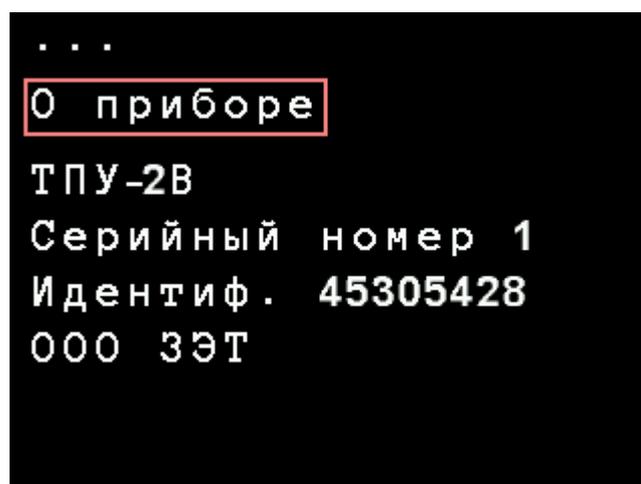


Рисунок 3.7а. Меню «О приборе» ТПУ-2В

3.2.4 Чтобы получить доступ в меню настроек, вернуться кнопкой «Отмена» в меню верхнего уровня (рисунок 3.6), поставить курсор на элемент меню «Настройки» и нажать кнопку «Применить» или клавишу «Вправо». На экране отобразится меню прибора в соответствующем режиме: для режима «Тесламетр» будет выведено меню с настройками для измерения параметров магнитного поля (рисунок 3.8), а в режиме «Веберметр» – меню для измерения магнитного потока и других величин индукционным методом (рисунок 3.24).

Примечание – Красным прямоугольником обозначена текущая позиция курсора, зеленым прямоугольником выделены параметры, которые можно изменять, либо текущая выбранная настройка (см., например, рисунок 3.9 или рисунок 3.10).

### 3.3 Работа в режиме «Тесламетр»

3.3.1 Выполнить указания 2.1.1 – 2.1.3. Выбрать требуемый измерительный зонд и присоединить его к тесламетру-веберметру. Включить прибор и установить его настройки, как указано ниже.



Рисунок 3.8. Настройки ТПУ-2В в режиме «Тесламетр»

3.3.2 Меню «Настройки» (см. рисунок 3.8) содержит следующие параметры:

- подменю «Вид поля ...», которое служит для выбора измеряемого магнитного поля (постоянное, переменное, импульсное);
- параметр «Пред. изм.», который предназначен для выбора предела измерений (доступны пределы 100 Тл, 10 Тл, 1 Тл, 100 мТл, 10 мТл, 1 мТл);
- параметр «Время изм.» / «Част. диап.» / «Длит имп.», который определяется частотой дискретизации с учетом заложенной в программу обработки данных функции пре-скалера и служит для выбора: времени измерения (в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля); максимальной частоты гармонических составляющих (в режиме измерения параметров переменного магнитного поля); минимальной длительности импульса (в режиме измерения параметров импульсного магнитного поля). Название параметра изменяется при изменении вида магнитного поля (см. рисунок 3.9). Доступные значения:
  - постоянное поле «Время изм.» (время усреднения): 0,1; 0,8; 1,6; 6,4; 12,8; 25,6 с;
  - переменное поле «Част. диап.» (частотный диапазон): 70; 35; 18; 8; 4; 2 кГц;
  - импульсное поле «Длит. имп.» (минимальная длительность импульса): 6; 50; 100; 400; 800; 1600 мкс;
- подменю «Настр. изм.» (настройки измерений) предназначено для задания количества измерений в серии, выбора единиц измерения и вида измерительного зонда;

- меню запуска «Установка нуля» для проведения измерений в режиме установки нуля.

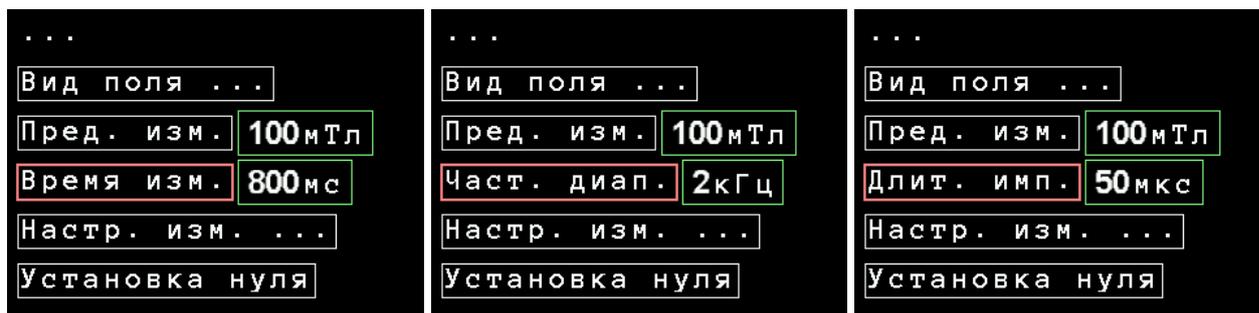


Рисунок 3.9. Настройки ТПУ-2В в режиме «Тесламетр» при измерениях параметров магнитных полей (слева – постоянное магнитное поле, в центре – переменное магнитное поле, справа – импульсное магнитное поле)

3.3.3 Подменю «Вид поля ...» выбора вида магнитного поля показано на рисунке 3.10.

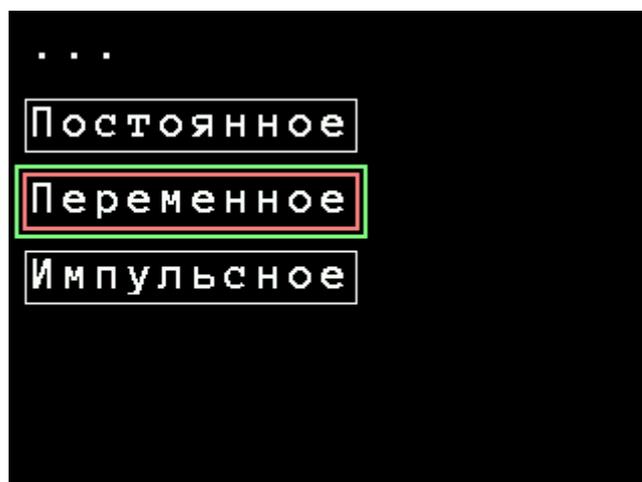


Рисунок 3.10. Подменю выбора вида магнитного поля. Режим «Тесламетр»

Доступны измерения параметров магнитных полей:

- постоянного (измеряется магнитная индукция);
- переменного (могут быть измерены амплитудные значения магнитной индукции и частота каждой выделенной гармонической составляющей магнитного поля);
- импульсного (могут быть измерены амплитудные значения и временные параметры каждого выделенного импульса).

Для всех видов измеряемого магнитного поля возможен отсчет в единицах магнитной индукции или напряженности магнитного поля.

3.3.4 Подменю «Настр. изм. ...» настроек измерений показано на рисунке 3.11.

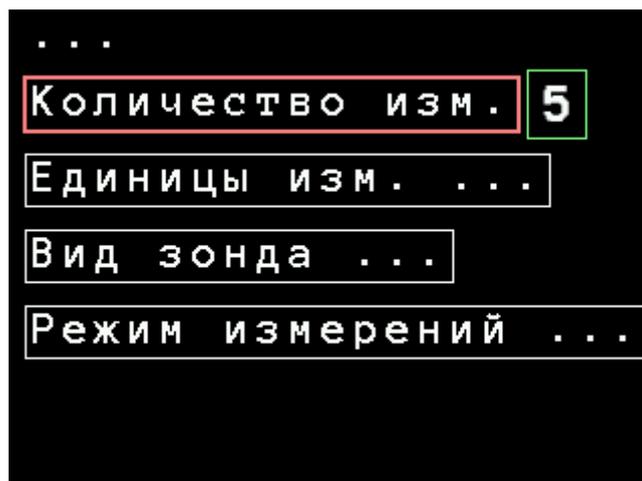


Рисунок 3.11. Подменю настроек измерений. Режим «Тесламетр»

Данное меню содержит в себе следующие элементы управления и подменю:

- элемент управления «Количество изм.» (количество измерений), который позволяет изменять количество единичных измерений в серии от 1 до 10;
- подменю «Единицы изм. ...» (единицы измерений), которое позволяет выбрать единицы измерения (см. рисунок 3.12);
- подменю «Вид зонда ...» для установки выбранного зонда (см. рисунок 3.13);
- подменю «Режим измерений ...» для выбора режима при измерении параметров постоянных магнитных полей» (см. рисунок 3.13а).

3.3.5 Подменю «Единицы изм. ...» выбора единиц измерения показано на рисунке 3.12. Для выбора доступны следующие единицы:

- Тесла;
- Гаусс (иногда полезно помнить, что в симметричной системе единиц СГС единица измерения магнитной индукции гаусс Гс численно равна единице измерения напряженности магнитного поля эрстеду Э);  $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$ ;
- Ампер/метр;  $1 \text{ А/м} = 4\pi/1000 \text{ Э} \approx 0,012566 \text{ Э}$ ;
- Ампер/см;  $1 \text{ А/см} = 0,4\pi \text{ Э} \approx 1,2566 \text{ Э}$ .

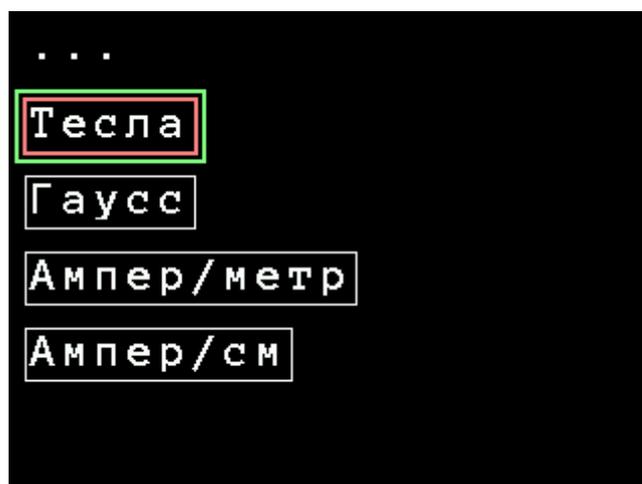


Рисунок 3.12. Подменю выбора единиц измерения. Режим «Тесламетр»

3.3.6 Подменю «Вид зонда ...» показано на рисунке 3.13. Для выбора доступны 3 вида измерительных зондов: «Зонд С», «Зонд М», «Зонд И». Их назначение и особенности см. в 1.4.8.

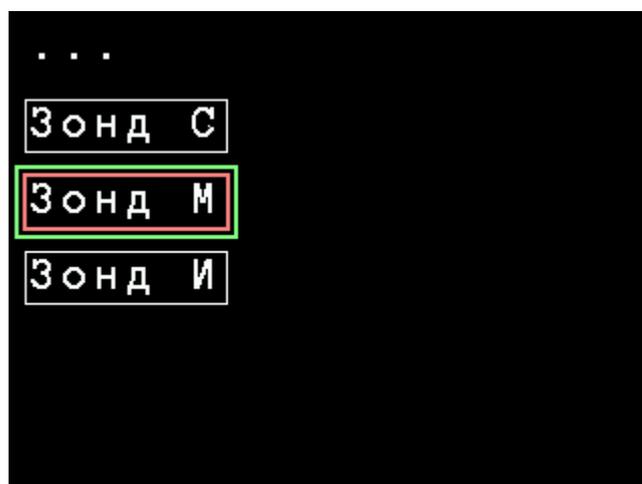


Рисунок 3.13. Подменю выбора зонда. Режим «Тесламетр»

#### **ВНИМАНИЕ!**

ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕДОПУСТИМО БОЛЬШИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ:  
- ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЗОНДЫ, КОТОРЫЕ ВХОДЯТ В КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ ДАННОГО ТЕСЛАМЕТРА-ВЕБЕРМЕТРА;  
- СЛЕДИТЬ ЗА ТЕМ, ЧТОБЫ К ТЕСЛАМЕТРУ-ВЕБЕРМЕТРУ БЫЛ ПОДКЛЮЧЕН ТОТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЗОНД, КОТОРЫЙ УСТАНОВЛЕН В ПОДМЕНЮ ВЫБОРА ЗОНДА.

3.3.6.1 Подменю выбора режима измерений показано на рисунке 3.13а. Доступны два режима:

- «Обычный» – измерения по нажатию кнопки «Старт» (обычные);
- «Контроль» – непрерывные измерения в режиме измерения параметров постоянных магнитных полей. При выборе этого режима измерения начнутся сразу после закрытия меню (описание результатов работы см. в 3.3.9.4). Нажатие любой кнопки в процессе циклических измерений остановит измерения и переведет измерения в режим «Обычный».

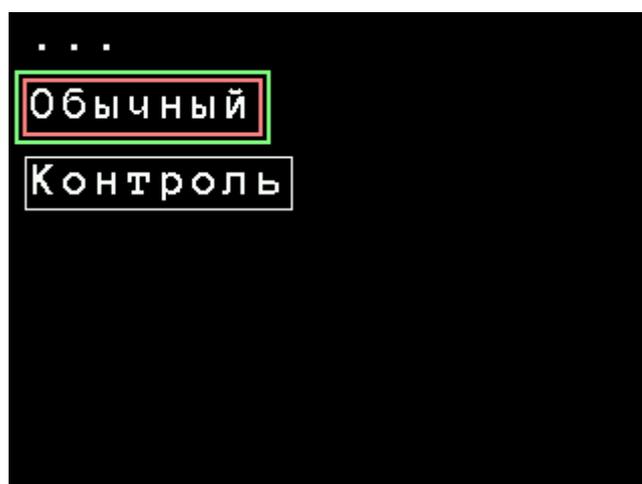


Рисунок 3.13а. Подменю выбора режима измерений. Режим «Тесламетр»

3.3.7 Установить требуемые параметры измерений и выполнять измерения, руководствуясь указаниями 2.1.4 – 2.1.6, а также, в зависимости от вида измеряемого магнитного поля и выбранного измерительного зонда, указаниями 3.3.8 – 3.3.12.

3.3.8 При работе с измерительными зондами «М», «С» проверить установку нуля тесламетра-веберметра, для чего поместить измерительный зонд в цилиндрический магнитный экран из комплекта поставки тесламетра-веберметра, сориентировав его продольной осью в направлении восток-запад и в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля произвести отсчет показаний прибора. Эти показания не должны превышать:  $\pm 0,01\%$  установленного предела измерений «100 Тл», «10 Тл», «1 Тл», «100 мТл»;  $\pm 10$  мкТл на пределе «10 мТл»;  $\pm 5$  мкТл на пределе «1 мТл». В противном случае следует заново установить нуль прибора, как указано в 3.3.9.3.

3.3.9 Работа в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля (измерительные зонды «М», «С»)

3.3.9.1 Окно с результатами измерений в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля показано на рисунке 3.14.



Рисунок 3.14. Результаты измерения параметров постоянного магнитного поля.  
Режим «Тесламетр»

В левой верхней части окна результатов отображаются параметры последнего проведенного измерения в серии (поле «Посл. знач.»);

В правой верхней части окна отображаются следующие параметры:

- поле «Кол. измерений» (количество измерений) служит для вывода числа проведенных в серии измерений;
- поле «Среднее» служит для отображения среднего значения магнитной индукции по результатам измерений в серии;
- поле «СКО» предназначено для отображения СКО измерений по результатам серии измерений.

Примечание – Здесь и далее в окне результатов измерений отображается до четырех значащих цифр после запятой.

В нижней части окна отображается фрагмент графика временной зависимости результатов измерений в масштабе, который определяется автоматически при обработке процессором измерительного сигнала. График позволяет оценить зашумленность сигнала, а также возможные изменения измеряемой магнитной индукции за отображаемый отрезок времени (например, при наложении на измеряемое постоянное магнитное поле незначительного магнитного поля, медленно изменяющегося во времени).

3.3.9.2 Параметр «Время изм.» (см. рисунок 3.9, левое изображение) предназначен для выбора времени усреднения в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля. Правильный выбор этого параметра позволит устранить влияние переменных и импульсных составляющих внешнего магнитного поля. Увеличение времени усреднения до определенного момента будет приводить к уменьшению уровня СКО единичного значения. Необходимо, однако, разумный компромисс между требуемой точностью и временем измерения.

3.3.9.3 При необходимости установки нуля тесламетра-веберметра (см. 3.3.7) следует вызвать меню настроек (см. рисунок 3.8), затем, пользуясь клавишами «Вверх» или «Вниз», установить курсор на пункте «Установка нуля» и нажать клавишу «Применить». Прибор предложит поместить зонд в магнитный экран и выполнить дальнейшие действия (см. рисунок 3.15).

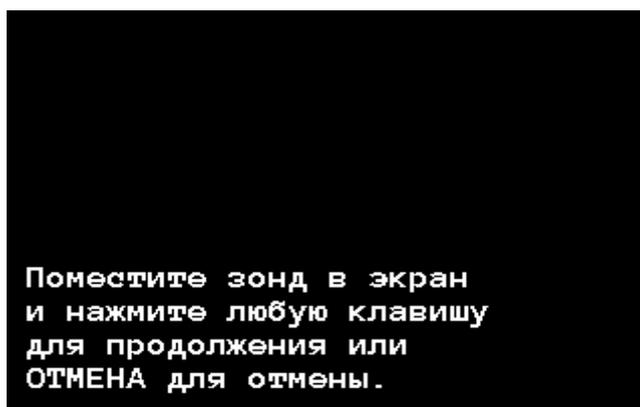


Рисунок 3.15. Установка нуля. Режим «Тесламетр»

После помещения измерительного зонда («М» или «С») в магнитный экран и нажатия любой клавиши, кроме «Отмена», будет запущен процесс установки нуля. Независимо от текущих настроек прибор автоматически перейдет в режим измерения параметров постоянного магнитного поля и начнет процесс измерения. После окончания процесса установки нуля данные будут автоматически записаны в память прибора и использованы в дальнейшем.

Для отмены процедуры установки нуля следует нажать клавишу «Отмена».

Следует отметить, что параметры установки нуля для каждого предела измерений и каждого из зондов «М», «С» индивидуальны. Это означает, что в случае необходимости процедуру установки нуля следует проводить для каждого зонда и каждого предела измерений в отдельности.

В случае возникновения необходимости восстановления начальных установок нуля следует вызвать меню верхнего уровня (см. рисунок 3.6), установить курсор на пункт «Нач. установки нуля» и нажать клавишу «Применить». Будет показано предупреждение о возврате параметров установки нуля к начальным (см. рисунок 3.16). Для возврата параметров установки нуля к начальным следует нажать любую клавишу, кроме клавиши «Отмена», для отмены этой процедуры нажать клавишу «Отмена».

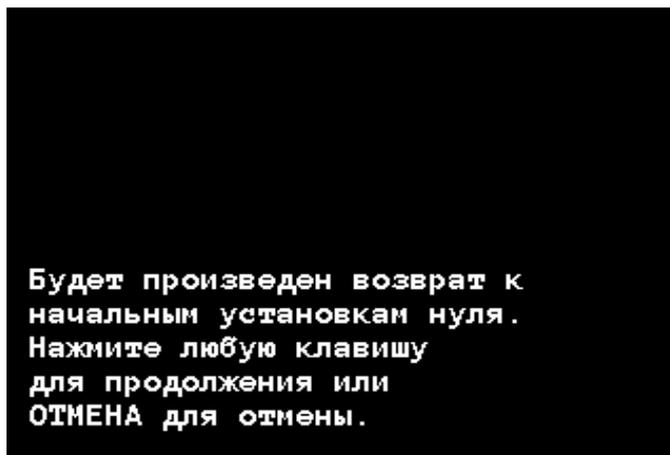


Рисунок 3.16. Восстановление начальных установок нуля. Режим «Тесламетр»

3.3.9.4 Работа в режиме измерения параметров постоянного магнитного поля в режиме контроля. Результаты работы в режиме контроля идентичны результатам измерения параметров постоянного магнитного поля, приведенным на рисунке 3.14, за одним исключением – на графике приведены результаты последних 10 измерений параметров постоянного магнитного поля (см. рисунок 3.16а). Средние параметры также вычисляются по 10 измерениям. Измерения производятся циклично, до отмены данного режима.

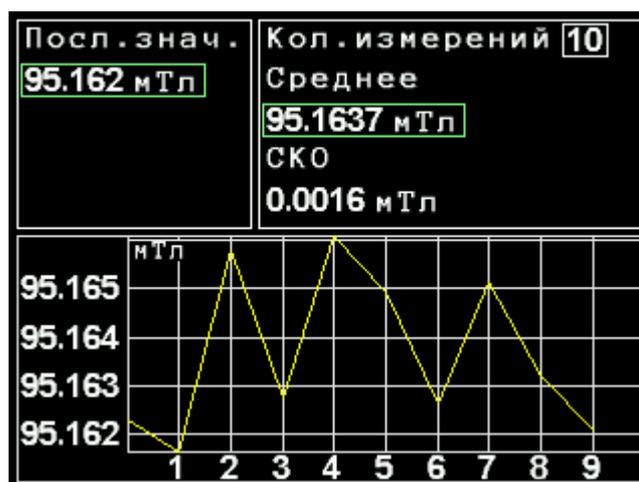


Рисунок 3.16а. Режим «Контроль». Постоянное магнитное поле. Режим «Тесламетр»

3.3.10 Работа в режиме измерения параметров переменного магнитного поля (измерительные зонды «М», «С»)

Примечание – Установленный частотный диапазон измерений должен быть не менее, чем в 5 – 10 раз выше ожидаемой частоты первой гармоники измеряемого магнитного поля.

3.3.10.1 Результаты измерений переменного поля показаны на рисунке 3.17.



Рисунок 3.17. Результаты измерения параметров переменного магнитного поля.  
Режим «Тесламетр»

В левой верхней части в случае, если переменное магнитное поле содержит несколько гармонических составляющих, будут показаны параметры самой большой по амплитуде составляющей:

- поле «Част.» (частота) предназначено для вывода частоты гармонической составляющей с максимальной амплитудой магнитной индукции;
- поле «Амп.» (амплитуда) предназначено для вывода амплитудного значения этого компонента;
- поле «Смещ.» предназначено для вывода значения постоянной составляющей измеряемого магнитного поля. Кроме собственно информации о форме измеряемого поля, этот параметр может помочь пользователю понять причину возможной перегрузки входных каскадов прибора, если она вызвана наличием относительно сильного постоянного магнитного поля.

В случае, если все гармонические составляющие магнитной индукции переменного поля лежат в пределах пяти значений СКО шума, в полях для вывода значений частоты и амплитуды будут показаны нули.

В правой верхней части отображены:

- поле «Кол. изм.» (количество измерений) предназначено для вывода количества проведенных в серии измерений;
- поле «Амп.» (амплитуда) служит для вывода среднего значения амплитуды магнитной индукции;
- поле «СКО» предназначено для отображения СКО среднего значения амплитуды;
- поле «Част.» (частота) служит для вывода среднего значения частоты гармонического сигнала;
- поле «СКО» служит для отображения значения СКО среднего значения частоты.

Указанные параметры вычисляются для значения компонента магнитной индукции максимальной амплитуды, обнаруженного при первом измерении в серии (или в последующих, если в первых измерениях серии не обнаружено ни одной гармонической составляющей, амплитуда которой достаточно превышает уровень шума). Частота этого магнитного поля будет считаться основной и при последующих измерениях в серии. Для вычисления среднего значения будут учитываться значения магнитной индукции с частотой, отличающейся от основной не более, чем на  $\pm 1$  Гц.

В нижней части окна отображается график спектра измеренной магнитной индукции. Приведены в децибелах относительные значения высших гармоник магнитного поля в долях магнитной индукции основной частоты и уровень шума. Чтобы пользоваться этим графиком, а также графиком на рисунке 3.21, удобно руководствоваться данными таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Пересчет относительных значений магнитной индукции, децибел, в проценты

Децибелы, дБ	Проценты, %	Децибелы, дБ	Проценты, %
0	100	-20	10
-5	56	-30	3
-10	31	-40	1

3.3.10.2 В левой части окна содержится также меню выбора отображения подробных результатов последнего измерения, которое состоит из следующих элементов:

- «Гармоники»;
- «Спектр»

Навигацию по этим элементам меню осуществляют таким же образом, как навигацию по меню настроек: клавишами «Вверх» и «Вниз» выбирают необходимый элемент, клавишами «Применить» или «Вправо» переходят в выбранный режим отображения. Для возврата к предыдущему режиму отображения следует использовать клавиши «Отмена» или «Влево».

Режим отображения «Гармоники» показан на рисунке 3.18.

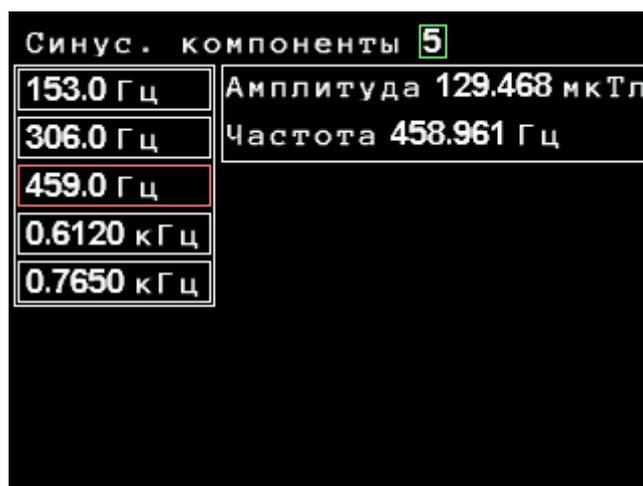


Рисунок 3.18. Результаты определения гармонических составляющих магнитной индукции в режиме отображения результатов «Гармоники» при измерении параметров переменного магнитного поля. Режим «Тесламетр»

В данном режиме показываются все определенные гармонические составляющие переменного магнитного поля. В верхней части окна отображается число определенных гармонических составляющих (поле «Синус. компоненты» – синусоидальные компоненты). Далее в левой части окна указаны частоты определенных гармонических составляющих. По данному списку возможна навигация с помощью клавиш «Вверх» и «Вниз».

Для каждой из составляющих при ее выборе в правой части окна будет отображаться амплитуда (поле «Амплитуда») и частота (поле «Частота»). Эти параметры определены по Фурье-спектру, при определении которого используются 8192 отсчета, т.е. значения амплитуды и частоты могут быть недостаточно точными. Чтобы уточнить значения параметров данной гармонической составляющей, следует нажать кнопку «Вправо». Т.к. процесс уточнения достаточно долгий, то в течение всего времени уточнения в правом нижнем углу окна будет

отображена надпись «Уточнение ...» (см. рисунок 3.19). После завершения процесса уточнения для данной гармоники будет отображена дополнительная таблица «Уточн. знач» с уточненными значениями амплитуды и частоты (см. рисунок 3.20; поле «Частота»). Для выхода в предыдущее меню использовать клавиши «Отмена» или «Влево».



Рисунок 3.19. Процесс уточнения параметров сигнала в режиме отображения результатов «Гармоники» при измерении переменного магнитного поля. Режим «Тесламетр»



Рисунок 3.20. Результат уточнения параметров магнитной индукции в режиме отображения результатов «Гармоники» при измерении переменного магнитного поля. Режим «Тесламетр»

При нажатии кнопки «Применить» в режиме отображения результатов «Гармоники» будет отображен график магнитной индукции данной гармоники (в данном примере три периода, см. рисунок 3.21). Следует отметить, что, т.к. чаще всего амплитуды составляющих более высоких частот весьма незначительны, график магнитной индукции первой гармоники будет выглядеть просто зашумленным.

Для выхода в предыдущее меню следует использовать клавиши «Отмена» или «Влево».

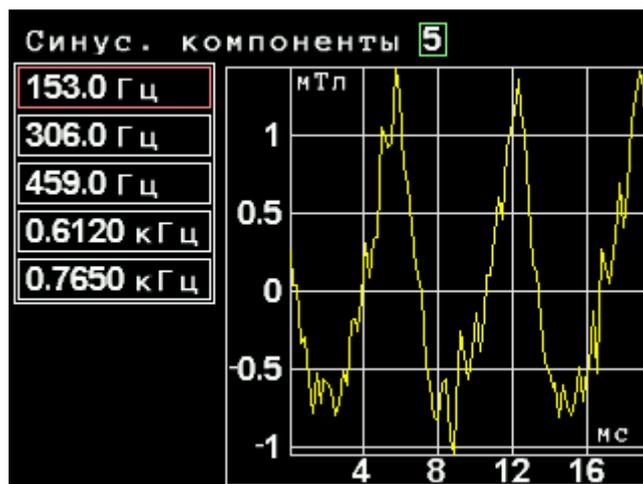


Рисунок 3.21. График выбранной гармонической составляющей в режиме отображения результатов «Гармоники» при измерении параметров переменного магнитного поля. Режим «Тесламетр»

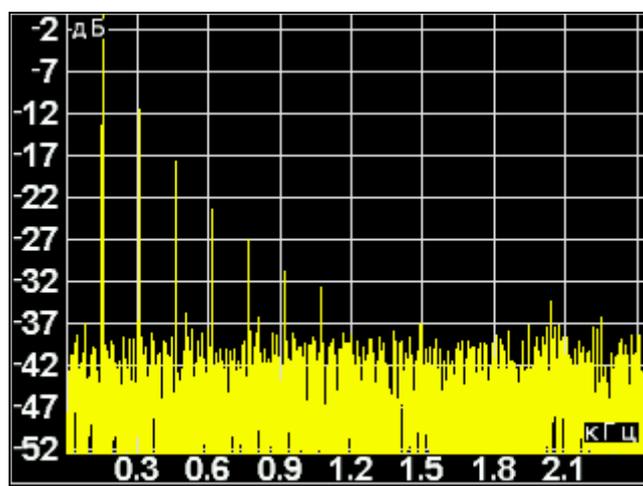


Рисунок 3.22. Спектр магнитной индукции в режиме отображения результатов «Спектр» при измерении параметров переменного магнитного поля. Режим «Тесламетр»

3.3.10.3 Режим отображения «Спектр» показан на рисунке 3.22. Представлен спектр измеренной магнитной индукции. График аналогичен графику, изображенному в нижней части рисунка 15, но содержит больше подробностей, т.к. распахан на всю высоту и ширину дисплея.

Для возврата к предыдущему окну следует нажать клавиши «Отмена» или «Влево».

3.3.11 Работа в режиме измерения параметров импульсного магнитного поля (измерительные зонды «М», «С»)

3.3.11.1 Тесламетр-веберметр измеряет одиночные биполярные импульсы магнитного поля. Под одиночными понимаются импульсы, в т.ч. представляющие собой несколько периодов затухающего колебательного процесса, период повторения которых существенно превышает длительность. В зависимости от соотношения установленной в настройках прибора длительности импульса и действительной длительности измеряемого импульса магнитного поля возможно наблюдение и измерение параметров нескольких импульсов.

Примечание – Установленная минимальная длительность импульса должна быть не менее, чем в 5 – 10 раз меньше ожидаемой длительности импульса измеряемого магнитного поля.

3.3.11.2 После запуска процесса измерений тесламетр-веберметр определяет шумовые характеристики сигнала, поступающего с измерительного зонда, выводит информационное окно с шумовыми параметрами и ждет превышения порога в 5 значений СКО. Прервать ожидание можно клавишей «Отмена». Превышение порога свидетельствует о воздействии на измерительный зонд импульса магнитного поля. Прибор определяет параметры импульсов (одного или нескольких) и выводит их на экран. Результаты работы прибора в данном режиме представлены на рисунке 3.23.

Найдено импульсов <b>7</b>	
<b>Пик 1</b>	Размах <b>205.356 мТл</b>
<b>Пик 2</b>	Длительность <b>243.2 мкс</b>
<b>Пик 3</b>	Длит. фронта <b>48 мкс</b>
<b>Пик 4</b>	Пик1 <b>86.601 мТл</b>
<b>Пик 5</b>	Пик2 <b>-118.755 мТл</b>
<b>Пик 6</b>	Част. имп. <b>7.99 Гц</b>
<b>Пик 7</b>	

Рисунок 3.23. Результаты измерения параметров импульсного магнитного поля.  
Режим «Тесламетр»

В верхней части окна отображается количество найденных импульсов (поле «Найдено импульсов»). В левой части окна отображается список найденных импульсов. По этому списку возможна навигация с помощью клавиш «Вверх» и «Вниз». В правой части окна отображаются параметры выбранного импульса:

- поле «Размах» служит для вывода значения размаха импульса (от минимального до максимального значений);
- поле «Длительность» предназначено для вывода длительности импульса по его основанию, за которое принимается ось абсцисс;
- поле «Длит. фронта» (длительность фронта) служит для вывода времени нарастания импульса (от оси абсцисс до максимального значения);
- поле «Пик 1» служит для вывода максимального значения магнитной индукции положительной части импульса, если импульс биполярный или однополярный, отсчитывается от оси абсцисс;
- поле «Пик 2» служит для вывода максимального значения магнитной индукции отрицательной части импульса, если импульс биполярный или однополярный, отсчитывается также от оси абсцисс.

Последующие пики являются параметрами последующих импульсов, если они найдены.

Примечание – Ось абсцисс совпадает со средним значением магнитной индукции, которое определяется как результат статистической обработки измерительной информации. В общем случае эта информация представляет собой результат суперпозиции сигналов от всех магнитных полей, действующих на измерительный преобразователь, и собственных шумов прибора за вычетом сигнала от измеряемого импульсного магнитного поля, за который принимается сигнал, превышающий порог в 5 значений СКО.

Ниже таблицы параметров импульса отображается значение частоты следования импульсов, если число импульсов больше, чем 1 («Част. имп.»).

3.3.11.3 При нажатии клавиш «Вправо» или «Применить» режим отображения перейдет в режим графического вывода вида импульса (рисунок 3.24). Для возвращения в предыдущий режим следует нажать клавиши «Влево» или «Отмена».

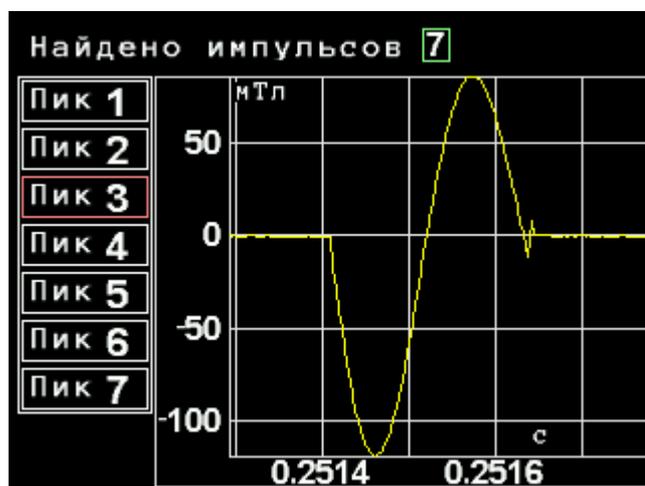


Рисунок 3.24. Графическое отображение вида выбранного импульса в режиме измерения параметров импульсного магнитного поля. Режим «Тесламетр»

Дальнейшее нажатие клавиш «Вправо» или «Применить» приведет к переходу в режим отображения всей измеренной импульсной последовательности с выделением текущего выбранного импульса магнитного поля (рисунок 3.25).



Рисунок 3.25 Графическое отображение вида измеренного сигнала с выделением выбранного импульса магнитного поля. Режим «Тесламетр»

3.3.12 Работа в режиме измерения параметров магнитного поля с измерительным зондом «И»

3.3.12.1 Подключить зонд «И» к входу блока усилителя, соединенного с тесламетром-веберметром.

### **ВНИМАНИЕ!**

ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕДОПУСТИМО БОЛЬШИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ  
ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЗОНД И БЛОК УСИЛИТЕЛЯ,  
КОТОРЫЕ ВХОДЯТ В КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ ДАННОГО ТЕСЛАМЕТРА-ВЕБЕРМЕТРА

3.3.12.2 Установить вид измеряемого магнитного поля (постоянное, переменное, импульсное).

3.3.12.3 В режиме измерений постоянного магнитного поля установить время измерений такое, чтобы оно было не менее чем в 2 раза больше ожидаемого времени изменения измеряемого магнитного поля, предел измерений – из обычных соображений (с учетом 3.4.4 и данных таблицы 3.2).

3.3.12.4 В режиме измерений переменного магнитного поля установить частотный диапазон и предел измерений, исходя из следующих соображений:

- частотный диапазон должен в 5 – 100 раз превышать ожидаемую частоту первой гармоники измеряемого магнитного поля;
  - предел измерений должен быть выбран с учетом примечания 2 к 1.2.2.2.
- В дальнейшем руководствоваться указаниями 3.3.10.

### 3.4 Работа в режиме «Веберметр»

#### ВНИМАНИЕ!

1. ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ НЕДОПУСТИМО БОЛЬШИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО БЛОК УСИЛИТЕЛЯ, КОТОРЫЙ ВХОДИТ В КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ ДАННОГО ТЕСЛАМЕТРА-ВЕБЕРМЕТРА
2. ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ БЛОКА УСИЛИТЕЛЯ НЕ ДОПУСКАЕТСЯ РАСПОЛАГАТЬ ЕГО ВБЛИЗИ ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Основное отличие режима работы «Веберметр» от режима работы «Тесламетр» заключается в том, что на вход прибора (вход блока усилителя) поступает сигнал от измерительной катушки, который индуцируется в ней при изменении действующего на катушку магнитного поля, и для получения информации о параметрах этого магнитного поля сигнал должен быть проинтегрирован.

Описание органов управления и действий оператора приведены ниже.

3.4.1 Меню «Настройки» в режиме работы «Веберметр» представлено на рисунке 3.26. Меню «Настройки» содержит следующие параметры:

- предел измерений («Пред. изм.»), служит для выбора предела измерений; доступны следующие значения: 10; 1 В·с; 100; 10; 1; 0,1 мВ·с;

#### Примечания

1 Тесламетр-веберметр градуирован в следующих единицах измерения: потокосцепление – В·с; магнитный поток – Вб. Хотя размерность Вб и есть В·с, такое разделение единиц измерения более адекватно отражает физическую сущность измеряемых величин.

2 В симметричной системе единиц СГС единицей измерения магнитного потока является максвелл Мкс.  $1 \text{ Мкс} = 10^{-8} \text{ Вб}$ .

- время интегрирования («Время инт.») для выбора времени интегрирования; доступны следующие значения: 100; 500 мкс; 1; 5; 10; 50; 100; 200; 500 мс; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50 с;
- меню «Катушка» для выбора катушки по ее назначению (измерительная катушка, катушка Гельмгольца);
- меню «Настройки...», предназначено для установки измеряемой величины, типа запуска, выбора числа измерений, настроек параметров катушек и параметров испытываемых образцов.

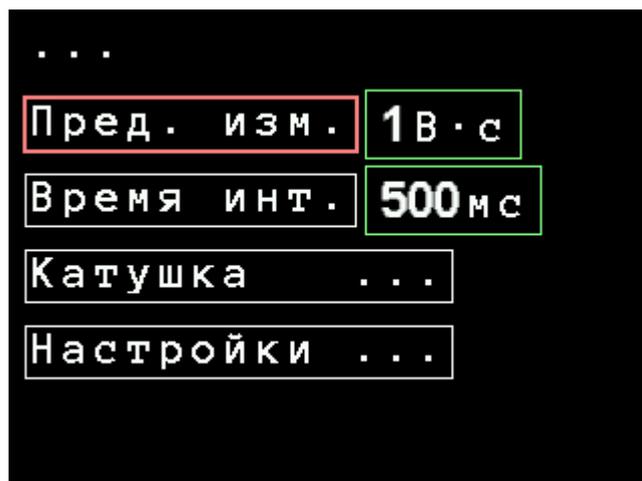


Рисунок 3.26. Настройки ТПУ-2В в режиме «Веберметр»

3.4.2 Меню выбора измерительной катушки представлено на рисунке 3.27. Доступны следующие виды катушек в зависимости от их предназначения:

- измерительная катушка («Изм. катушка ...») для измерения потокосцепления, магнитного потока, магнитной индукции. Вызывает подменю выбора катушек. Пользователь может устанавливать параметры катушек (среднюю площадь поперечного сечения и число витков) и сохранять их в любую из 4 ячеек для записи параметров катушки, как будет описано ниже, а затем в этом подменю выбрать катушку с заранее сохраненными параметрами;
- катушка Гельмгольца для измерения магнитных характеристик помещенных в нее образцов («КГ...»). Вызывает подменю выбора катушек Гельмгольца. Пользователь может устанавливать постоянные катушек и объем испытываемых образцов и сохранять эти параметры в любую из 4 ячеек, как будет описано ниже, а затем в этом подменю выбрать катушку или образец с заранее сохраненными параметрами.

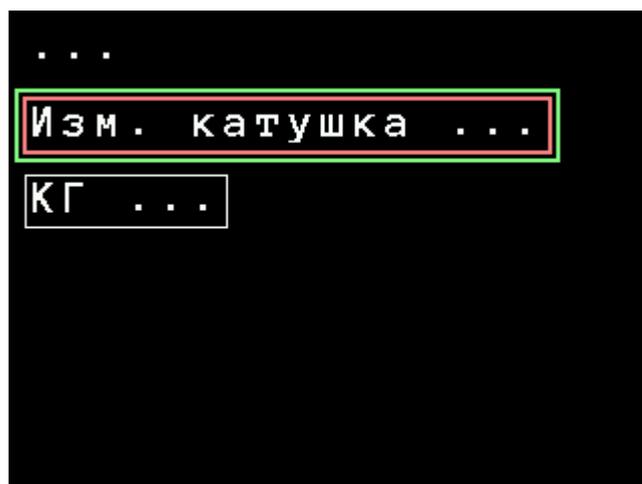


Рисунок 3.27. Меню выбора измерительной катушки. Режим «Веберметр»

3.4.3 Меню настроек измерений в режиме «Веберметр» представлено на рисунке 3.28.

3.4.3.1 Меню содержит следующие элементы настроек:

- подменю «Режим запуска ...», которое служит для выбора способа запуска измерений (рисунок 3.29);

- подменю «Измерения», предназначенное для выбора измеряемой физической величины (рисунок 3.30);
- подменю параметров измерительных катушек («Пар. изм. кат. ...»), которое предназначено для редактирования параметров измерительных катушек пользователя (рисунок 3.31);
- подменю параметров катушек Гельмгольца («Параметры КГ ...»), которое служит для редактирования постоянной катушек Гельмгольца по напряженности магнитного поля и/или объема испытуемого образца (рисунок 3.32);
- параметр «Количество изм.», предназначен для выбора числа измерений в серии;
- Параметр «Усреднение» (рисунок 3.32а) предназначен для вызова подменю способа усреднения (вычисление среднего арифметического с учетом знаков или среднего арифметического модулей результатов измерений).

Следует отметить способ организации меню. Если в нем больше 5 элементов, то автоматически список продолжается на следующий экран. При этом добавляются шесть точек внизу экрана первой страницы меню (рисунок 3.28, слева) и шесть точек вверху экрана второй страницы меню (рисунок 3.28, справа). Навигация в меню производится обычным способом, кнопками «Вверх» или «Вниз». Если курсор находится не на первой странице, нажатие кнопки «Отмена» приведет к переходу курсора на первую страницу меню.



Рисунок 3.28. Меню настроек измерений в режиме «Веберметр»

3.4.3.2 Подменю выбора способа запуска измерений представлено на рисунке 3.29. Доступны три способа запуска:

- «Автоматический» – в этом режиме измерения будут запускаться сразу же после оценки шумовых характеристик (смещения) вне зависимости от наличия или отсутствия полезного сигнала на входе;
- «Ждущий» – при установке этого режима измерения будут выполняться в следующем порядке: производится оценка параметров шума на входе блока усилителя (среднее и СКО); затем прибор ожидает, когда на входе появится полезный сигнал, т.е. уровень входного сигнала превысит 5 значений СКО; после этого измерения запускаются и проводятся в таком же режиме, что и при автоматическом запуске;
- «Пошаговый» – в этом режиме измерения осуществляются в диалоговом режиме. После оценки шумовых характеристик будет отображено окно, в котором пользователю будет предложено нажать любую клавишу для продолжения измерений (или клавишу

«Отмена» для отмены измерений). Таким образом, у оператора будет достаточно времени для подготовки катушки или образца непосредственно к измерениям.

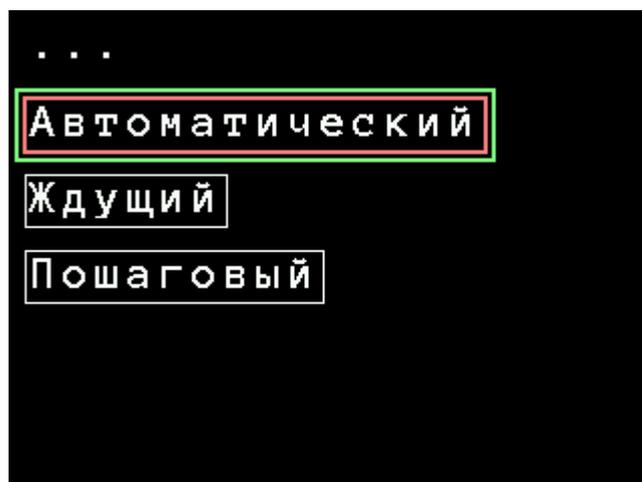


Рисунок 3.29. Подменю выбора способа запуска измерений «Режим запуска ...»

3.4.3.3 Подменю выбора измеряемой физической величины в режиме «Веберметр» показано на рисунке 3.30.

При использовании измерительных катушек доступными измеряемыми параметрами являются:

- потокосцепление (В·с);
- магнитный поток (Вб);
- магнитная индукция (Тл).

Для получения двух последних величин следует с передней панели прибора корректно ввести параметры измерительной катушки: число витков (для вычисления магнитного потока, сцепляющегося с катушкой) и среднюю площадь в  $\text{см}^2$  (для вычисления магнитной индукции – плотности магнитного потока через катушку). В противном случае в полях вывода результатов определения величин будут отображены либо текст «Ошибка», либо неправильные результаты.

При использовании катушек Гельмгольца для измерений магнитных характеристик по методикам стандарта ИЕС 60404-14:2002 доступными измеряемыми параметрами являются следующие величины:

- магнитный момент образца (Вб·м);
- намагниченность образца (Тл).

Для измерения этих величин следует с передней панели прибора корректно ввести постоянную катушки Гельмгольца по напряженности магнитного поля в 1/м и объем испытуемого образца в куб. см.

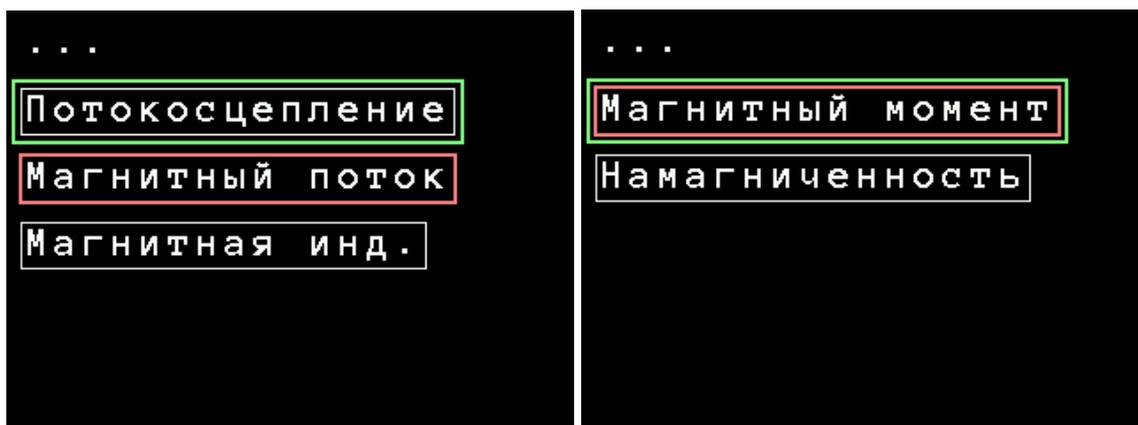


Рисунок 3.30. Подменю выбора измеряемой величины «Измерения» при использовании измерительных катушек (слева) и катушек Гельмгольца (справа)

3.4.3.4 Меню редактирования параметров измерительной катушки пользователя показано на рисунке 3.31. Для редактирования доступны следующие параметры:

- номер измерительной катушки («Номер изм. кат.»), который предназначен для выбора номера измерительной катушки. Доступны 4 ячейки для хранения параметров катушки;
- средняя площадь поперечного сечения катушки («S см кв.»);
- количество витков («Кол. витков») для задания числа витков катушки.

Редактирование параметров осуществляется следующим образом. Клавишами «Вверх» или «Вниз» на передней панели прибора выбирают параметр меню, после чего клавишами «Вправо» или «Влево» устанавливают требуемый разряд его числового значения. Выбранный разряд будет подсвечен красным прямоугольником. Затем клавишами «Вверх» или «Вниз» устанавливают соответствующую цифру разряда. После окончания редактирования следует убрать маркер редактирования путем последовательного нажатия на клавиши «Вправо» или «Влево» или однократного нажатия на клавиши «Применить» или «Отмена».

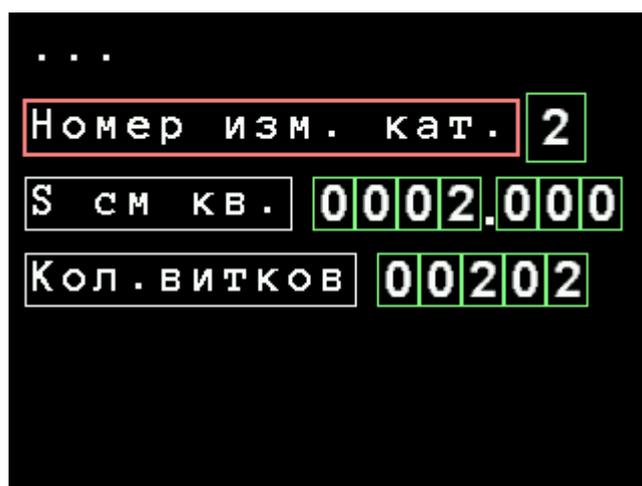


Рисунок 3.31. Меню редактирования параметров измерительной катушки

3.4.3.5 Меню редактирования параметров катушки Гельмгольца представлено на рисунке 3.32. Для редактирования доступны следующие параметры:

- номер катушки Гельмгольца («Номер КГ»), который предназначен для указания номера катушки Гельмгольца, выбранной для редактирования параметров. Доступны 4 ячейки для хранения параметров катушек Гельмгольца;
- постоянная катушки Гельмгольца («Пост. 1/м») для изменения постоянной катушки Гельмгольца по напряженности магнитного поля, значение задается в  $m^{-1}$ ;
- объем испытуемого образца («V см куб») для задания объема образца (в  $cm^3$ ), намагниченность которого подлежит определению.

Параметры редактируются таким же образом, как описано в 3.4.3.4. Стоит отметить, что катушка Гельмгольца может быть одна, а параметры, лежащие в разных ячейках, могут различаться только объемами испытуемых образцов.

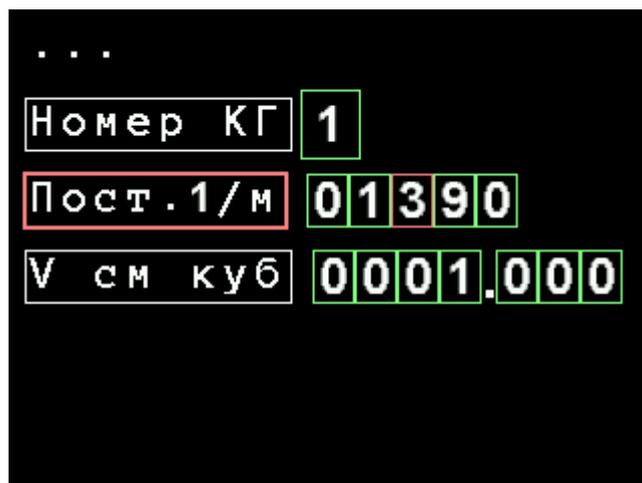


Рисунок 3.32. Меню редактирования параметров катушки Гельмгольца

3.4.3.6 Меню выбора способа усреднения показано на рисунке 3.32а. Доступны два алгоритма:

- «Арифметическое» – вычисление среднего арифметического с учетом знаков результатов измерений;
- «По модулю» – вычисление среднего арифметического модулей результатов измерений.

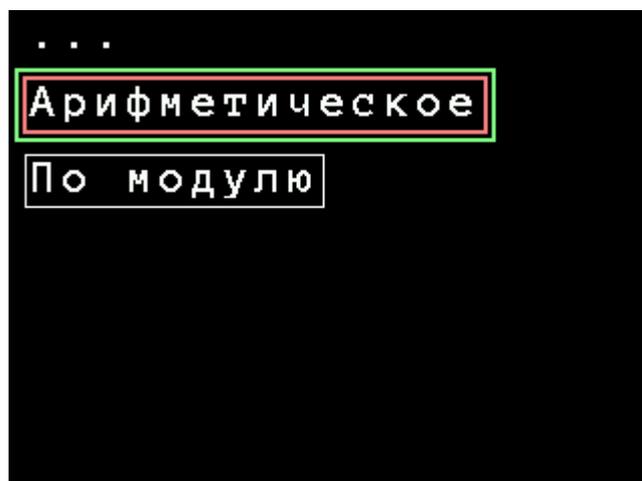


Рисунок 3.32а. Меню выбора способа усреднения

### 3.4.4 Процедура измерений в режиме «Веберметр»

- подключить необходимую измерительную катушку/катушку Гельмгольца;
- выставить требуемые предел измерений, время интегрирования и прочие настройки прибора;
- нажать на передней панели прибора кнопку «Старт», после чего в нижней части экрана появится надпись «Оценка шума ...». Дождаться, когда она сменится надписью «Измерение ...»;
- для измерения магнитного потока и магнитной индукции с использованием измерительных катушек руководствоваться указаниями 3.4.3.1 – 3.4.3.4;
- для измерения магнитного момента и намагниченности образца с использованием катушки Гельмгольца руководствоваться указаниями 3.4.3.1 – 3.4.3.3, 3.4.3.5.

При выборе параметров измерений:

- предел измерений устанавливать, руководствуясь данными таблицы 3.2, при этом иметь в виду, что формула ( 1.4 ) характеризует не реальную погрешность измерений (для оценки ее случайной составляющей на экране индицируются значения СКО, если измерений больше 1), а гарантированные изготовителем пределы допускаемых погрешностей;
- время интегрирования устанавливать так, чтобы оно существенно превышало время изменения магнитного потока, при этом учитывать электромагнитную обстановку.

Таблица 3.2 – Наибольшее допускаемое напряжение на входе блока усилителя

Предел измерений	Коэффициент усиления блока усилителя	Наибольшее допускаемое напряжение на входе блока усилителя
10 В·с	1	8 В
1 В·с	10	0,8 В
100 мВ·с	$10^2$	80 мВ
10 мВ·с	$10^3$	8 мВ
1 мВ·с	$10^4$	800 мкВ
100 мкВ·с	$10^5$	80 мкВ

Примечание – В ряде случаев может возникнуть ситуация, когда желательно установить более чувствительный предел измерения магнитного потока (более высокий коэффициент усиления блока усилителя), при этом напряжение, снимаемое с используемой измерительной катушки, оказывается выше допускаемого напряжения на входе блока усилителя. О наступлении такой ситуации будет говорить сообщение о перегрузке либо обрезанный импульс напряжения на графике. В этом случае следует подсоединить параллельно измерительной катушке неполярный конденсатор с малыми потерями такой емкости, чтобы наибольшее значение индуцируемого на катушке напряжения не превышало допускаемого напряжения на входе блока усилителя.

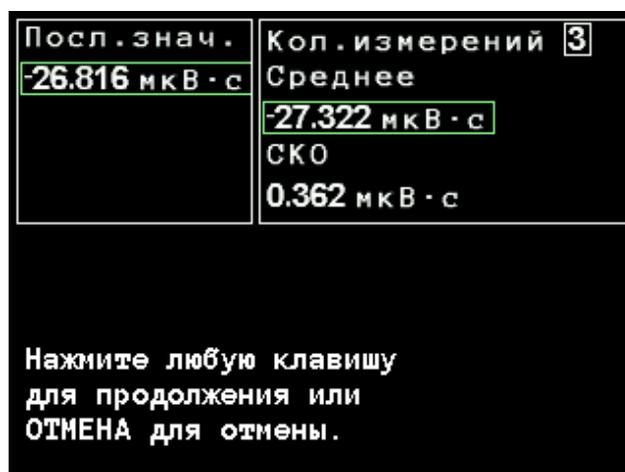


Рисунок 3.33. Результаты измерения потокосцепления

На рисунке 3.33 показаны для пояснения работы прибора в режиме «Веберметр» промежуточные результаты измерения потокосцепления. Выполнены 3 измерения в серии из 5 измерений, установленных оператором, осталось 2 измерения. Т.к. процедуру измерений с вносом или удалением измерительной катушки или образца автоматизировать сложно, и она чаще всего выполняется оператором вручную, процесс перехода к следующему измерению в серии реализован в диалоговом режиме. В данном случае необходимо нажать любую клавишу для начала следующего измерения или клавишу «Отмена» для прерывания серии измерений. После того как измерения будут продолжены, действовать обычным способом (сначала дождаться оценки шумовых характеристик, а затем произвести манипуляции с измерительной катушкой или образцом).

После выполнения всей серии измерений на экране будет отображена следующая информация (рисунок 3.34):



Рисунок 3.34. Результаты серии измерений потокосцепления

В левой верхней части экрана выведено значение потокосцепления, полученное при последнем измерении в серии.

В правой верхней части показаны следующие величины:

- количество измерений («Кол. измерений»);
- среднее значение потокосцепления в серии измерений («Среднее»);
- СКО измерений («СКО»).

В нижней части выведен график напряжения, которое индуцируется в измерительной катушке (катушке Гельмгольца) в процессе последнего в серии измерения за время интегрирования (было установлено оператором 5 с). График строится на основании тех же данных, что используются при получении значения потокосцепления (интегрировании).

### 3.5 Возможности использования изделия в измерительных системах

Используя внешний компьютер, можно полностью автоматизировать работу тесламетра-веберметра и обеспечить его работу в измерительных системах различного назначения. Для реализации этой возможности разработано программное обеспечение «Флюкс-У». Компакт-диск с ПО «Флюкс-У» входит в комплект поставки прибора, описание ПО приведено в Приложении 1 к настоящему документу «ПО «Флюкс-У»».

Тесламетр-веберметр с внешним компьютером можно, например, использовать:

- при исследованиях топографии магнитных полей;
- в измерительных системах для разбраковки постоянных магнитов;
- для мониторинга магнитной обстановки с накоплением и передачей данных по линиям связи.

## **4 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ**

### **4.1 Общие указания**

4.1.1 Техническое обслуживание производится лицами, эксплуатирующими ТПУ-2В, для обеспечения его исправности в течение всего срока службы.

4.1.2 Техническое обслуживание включает в себя:

- внешний осмотр изделия;
- удаление загрязнений;
- проверку работоспособности;
- периодические поверки.

### **4.2 Порядок технического обслуживания**

4.2.1 Внешний осмотр изделия рекомендуется проводить перед каждым его включением.

4.2.2 Удаление загрязнений рекомендуется проводить не реже одного раза в 6 мес.

4.2.3 Указания по поверке ТПУ-2В приведены в документе «ГСИ. Методика поверки. Тесламетры-веберметры универсальные ТПУ-2В. ТПКЛ.411171.010МП».

## **5 ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ**

5.1 Текущий ремонт тесламетра-веберметра ТПУ-2В заключается в восстановлении поврежденных кабелей и разъёмов. В случае выхода из строя узлы ТПУ-2В подлежат ремонту или замене на предприятии-изготовителе.

## **6 ХРАНЕНИЕ**

6.1 ТПУ-2В до введения в эксплуатацию следует хранить в отапливаемом и вентилируемом помещении:

- в упаковке предприятия-изготовителя в условиях хранения 1(Л) по ГОСТ 15150-69 при температуре окружающего воздуха от + 5 до + 40 °С и относительной влажности до 80 % при + 25 °С;

- без упаковки в условиях атмосферы типа I по ГОСТ 15150-69 при температуре окружающего воздуха от + 10 до +35 °С и относительной влажности до 80 % при + 25 °С.

6.2 В помещении для хранения не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию.

Место хранения должно исключать попадание на ТПУ-2В прямого солнечного света.

## **7 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ**

7.1 ТПУ-2В в упаковке предприятия-изготовителя может транспортироваться всеми видами транспорта на любые расстояния:

- перевозка по железной дороге должна производиться в крытых чистых вагонах;
- при перевозке открытым автотранспортом ящики должны быть накрыты водонепроницаемым материалом;
- при перевозке воздушным транспортом ящики должны быть размещены в герметичном отапливаемом отсеке;

- при перевозке водным и морским транспортом ящики должны быть размещены в трюме.

8.2 Размещение и крепление ящиков на транспортных средствах должны обеспечивать устойчивое положение при следовании в пути, отсутствие смещения и ударов друг о друга.

8.3 При погрузке и выгрузке должны соблюдаться требования надписей, указанных на транспортной таре.

8.4 Условия транспортирования:

- температура от минус 25 до + 50 °С при условии плавной температурной стабилизации при выгрузке до температуры от + 5 до + 40 °С и последующего пребывания в нормальных условиях в течение 24 ч;

- влажность до 95 % при температуре + 25 °С;

- транспортная тряска с ускорением не более 30 м/с<sup>2</sup> и числом ударов до 120 в мин.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «ФЛЮКС-У»  
РУКОВОДСТВО ОПЕРАТОРА**

**1 Назначение ПО**

1.1 Программное обеспечение «Флюкс-У» тесламетра-веберметра ТПУ-2В предназначено для обеспечения возможности дистанционного управления прибором с использованием внешнего компьютера.

1.2 Уровень защиты ПО тесламетра-веберметра ТПУ-2В соответствует уровню «высокий» по 4.5 Р 50.2.077-2014 «ГСИ. Испытания средств измерений в целях утверждения типа. Проверка защиты программного обеспечения». Для защиты ПО от сбоев, преднамеренного и непреднамеренного изменения исполняемых файлов и калибровочных данных введены следующие меры:

- 1) метрологически значимая часть ПО (калибровочные данные, алгоритмы обработки измерительной информации) размещена в процессоре аппаратной части;
- 2) аппаратная часть защищена от внешнего вмешательства схмотехническими средствами (по интерфейсу USB невозможно внести в ПО какие-либо изменения);
- 3) аппаратная часть находится внутри защищенного от внешних механических воздействий опломбированного корпуса блока измерительного тесламетра-веберметра;
- 4) ПО для дистанционного управления «Флюкс-У» не содержит метрологически значимой части. Кроме того, предусмотрена проверка контрольной суммы (хэш-функции) исполняемого файла и сравнение результата с записанным в формуляре тесламетра-веберметра.

**2 Состав ПО**

2.1 ПО тесламетра-веберметра состоит из двух частей:

- метрологически значимая часть и исполняемый программный модуль, устанавливаемые на предприятии-изготовителе и защищенные от вмешательств в процессе эксплуатации тесламетра-веберметра;
- ПО «Флюкс-У» для обеспечения возможности дистанционного управления прибором с использованием внешнего компьютера. Связь тесламетра-веберметра с внешним компьютером осуществляется по USB-кабелю. Это ПО входит в комплект поставки на компакт-диске.

**3 Технические требования к внешнему компьютеру**

3.1 Технические требования к внешнему компьютеру приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Операционная система	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1
Процессор с тактовой частотой	1000 МГц, не менее
Память	1024 МБ, не менее
Интерфейс USB	USB 1.1 или USB 2.0
Видеоподсистема с разрешением	1280×1024 точек, не менее
Кабель связи с компьютером, интерфейс USB	Из комплекта поставки или аналогичный

#### 4 Установка программного обеспечения «Флюкс-У»

4.1 ПО для дистанционного управления ТПУ-2В «Флюкс-У» устанавливаются с компакт-диска, который входит в комплект поставки прибора. Установка ПО заключается в установке драйвера USB интерфейса ТПУ-2В, а также в установке исполняемого модуля ТПУ-2В.EXE.

4.2 Установка драйвера USB интерфейса ТПУ-2В

4.2.1 Соединить тесламетр-веберметр ТПУ-2В и компьютер кабелем USB из комплекта поставки или аналогичным (допускается соединение приборов во включенном состоянии).

4.2.2 Включить и загрузить компьютер, если он не был включен.

4.2.3 Включить ТПУ-2В тумблером СЕТЬ на передней панели блока измерительного.

4.2.4 Далее Windows автоматически определит подключение нового USB устройства и откроет диалог установки USB драйвера. В диалоге установки USB драйвера необходимо указать пункт «установка драйвера из указанного места», затем указать путь к файлам драйвера. Файлы драйвера находятся на установочном компакт-диске в папке \Driver.

4.3 Установка исполняемого модуля ТПУ-2В.EXE производится переносом директории \TPU-2В с установочного диска в любую удобную директорию на компьютере.

#### 5 Описание программного обеспечения «Флюкс-У»

5.1 Тесламетр-веберметр может функционировать под управлением внешнего компьютера в диалоговом режиме. Диалог оператора с прибором осуществляется в режиме вывода информации на экран монитора компьютера. Перед запуском программы необходимо включить питание ТПУ-2В. При запуске программы будет произведен поиск подключенного устройства. В случае успешного обнаружения ТПУ-2В будет осуществлено получение текущих настроек, калибровочных данных и других параметров и выполнено самотестирование.

Если тесламетр-веберметр не обнаружен, будет показано сообщение (рисунок 1):

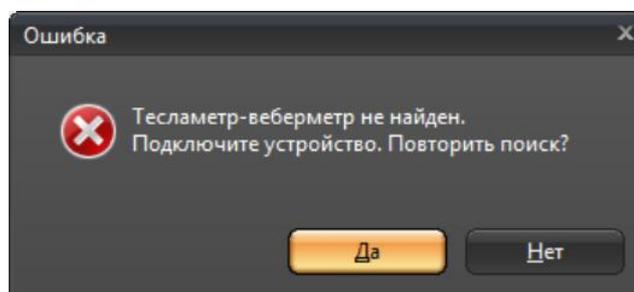


Рисунок 1. Ошибка соединения

В случае ошибок при передаче настроек, калибровочных и иных данных будет показано другое сообщение (рисунок 2).

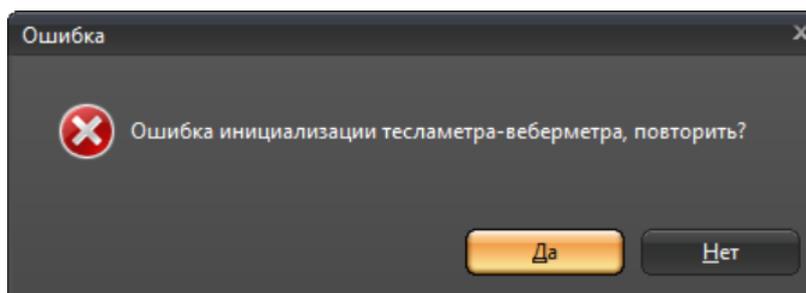


Рисунок 2. Ошибка инициализации

При нажатии кнопки «Да» процесс инициализации в обоих случаях будет повторен, при нажатии кнопки «Нет» процесс инициализации будет прерван. В случае возникновения подобных ошибок рекомендуется проверить, включен ли ТПУ-2В, подсоединен ли он к компьютеру, проверить надежность соединения тесламетра-веберметра с компьютером.

При положительных результатах самотестирования на экране монитора в заголовке программы высветится заводской номер данного экземпляра ТПУ-2В, который должен совпасть с порядковым номером, указанным на задней панели блока измерительного тесламетра-веберметра. При отрицательных результатах в заголовке будет выведена надпись «Программа управления ТПУ-2В. Серийный номер прибора не определен». Также в случае положительных результатов самотестирования в окне управления настройкам в пункте «Настройки» будут отображены серийный номер, идентификатор метрологически значимой части ПО и изготовитель ТПУ-2В (см. ниже).

5.2 Вид главного окна программы управления ТПУ-2В приведен на рисунке 3 (в качестве примера – в режиме «Тесламетр» при измерении параметров переменного поля). Окно содержит элементы управления, с помощью которых оператор имеет возможность устанавливать требуемые режимы и параметры измерений и индикации результатов измерений.



Рисунок 3. Главное окно программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр» (при измерении параметров переменного магнитного поля)

5.2.1 Основные элементы управления расположены в столбце в правой части окна:

- 1) кнопка «Пуск» служит для запуска процесса измерений;
- 2) кнопка «Стоп» останавливает процедуру измерений;
- 3) кнопка «График» отображает измеренный сигнал в графическом виде (в определенных режимах, см. ниже);
- 4) кнопка «Спектр» отображает спектр измеренного сигнала (в определенных режимах, см. ниже);
- 5) кнопка «Настройки» выведет окно настроек (рисунок 4);
- 6) кнопка «Сохранить лог» служит для сохранения результатов измерений в текстовый файл либо в файл в формате Microsoft Excel (при наличии установленного на компьютере Microsoft Office);
- 7) кнопка «Очистить лог» предназначена для очистки результатов измерений.

Также в окне показан журнал работы прибора, в который выводятся время и основные результаты измерений в выбранном режиме работы ТПУ-2В.

Аналогичные элементы управления имеются для всех режимов работы ТПУ-2В. Подробное описание режимов работы и информации, выводимой в окнах программы управления прибором, приведено ниже.

5.2.2 Окна настроек (рисунки 4, 5, 6) состоят из групп кнопок выбора типа изменяемых параметров (столбец в левой части экрана), области изменения выбранного типа параметров в зависимости от режима работы ТПУ-2В (основная часть окна) и кнопок принятия или отмены настроек (область в нижней части окна).

5.2.2.1 Кнопки выбора режима работы ТПУ-2В позволяют выбрать и установить режим работы прибора:

- а) «Тесламетр» (рисунок 4, слева);
- б) «Веберметр» (рисунок 4, справа).

Переключение режимов меняет содержимое окна настроек (рисунки 5 и 13).

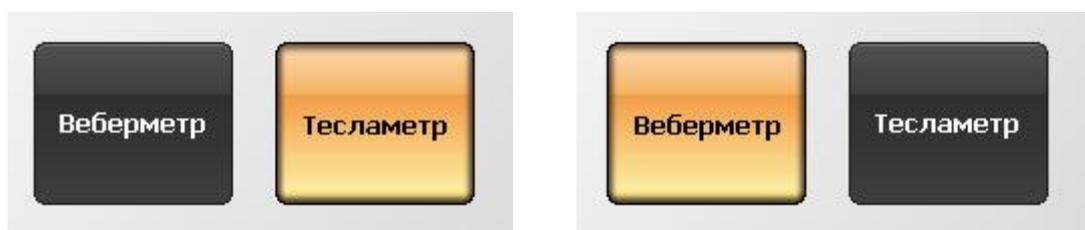


Рисунок 4. Настройки. Режимы работы ТПУ-2В. Режим «Тесламетр» (слева), режим «Веберметр» (справа)

5.2.2.2 Настройки в режиме «Веберметр» (рисунок 5).

1) «Измеряемая величина». Показывает настройки параметров запуска и вида измеряемой величины (рисунок 6). Измеряемые величины:

- а) потокосцепление (кнопка «Потокосцепление»);
- б) магнитный поток (кнопка «Магнитный поток»);
- в) магнитная индукция (кнопка «Магнитная индукция»).

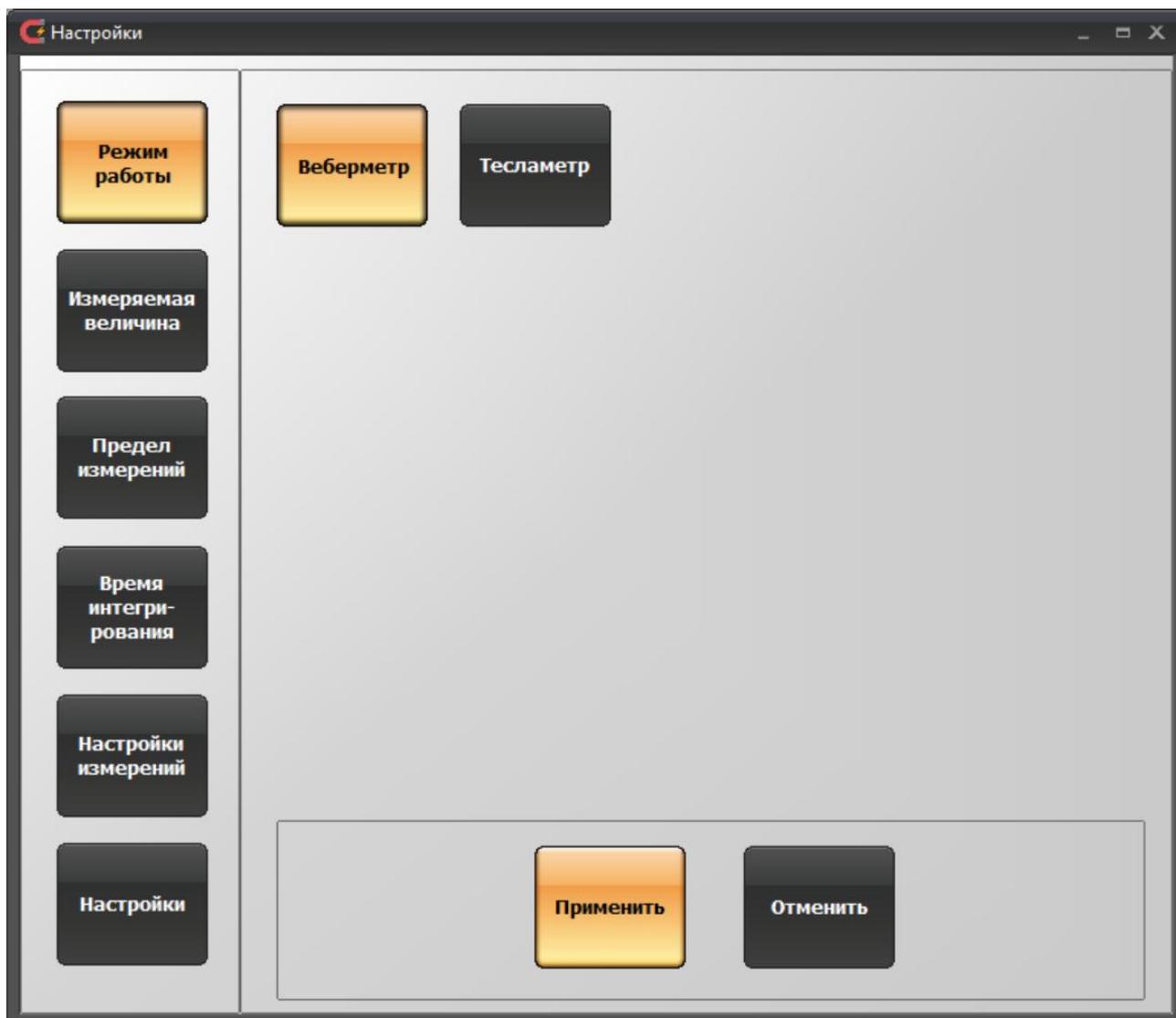


Рисунок 5. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр»

2) Тип запуска измерений:

а) автоматический (кнопка «Автомат.») запускает измерения автоматически по нажатию кнопки «Пуск»;

б) ждущий (кнопка «Ждущий») запускает измерения после превышения входным сигналом порогового значения, которое вычисляется автоматически после нажатия кнопки «Пуск». Производится вычисление среднего уровня входного сигнала и его СКО, и устанавливается порог в 5 значений СКО. Производится непрерывный контроль уровня входного сигнала и в момент, когда отклонение входного сигнала от его среднего значения превышает по модулю указанный порог (что воспринимается как появление полезного сигнала, превышающего уровень шумов), запускается процесс измерений.

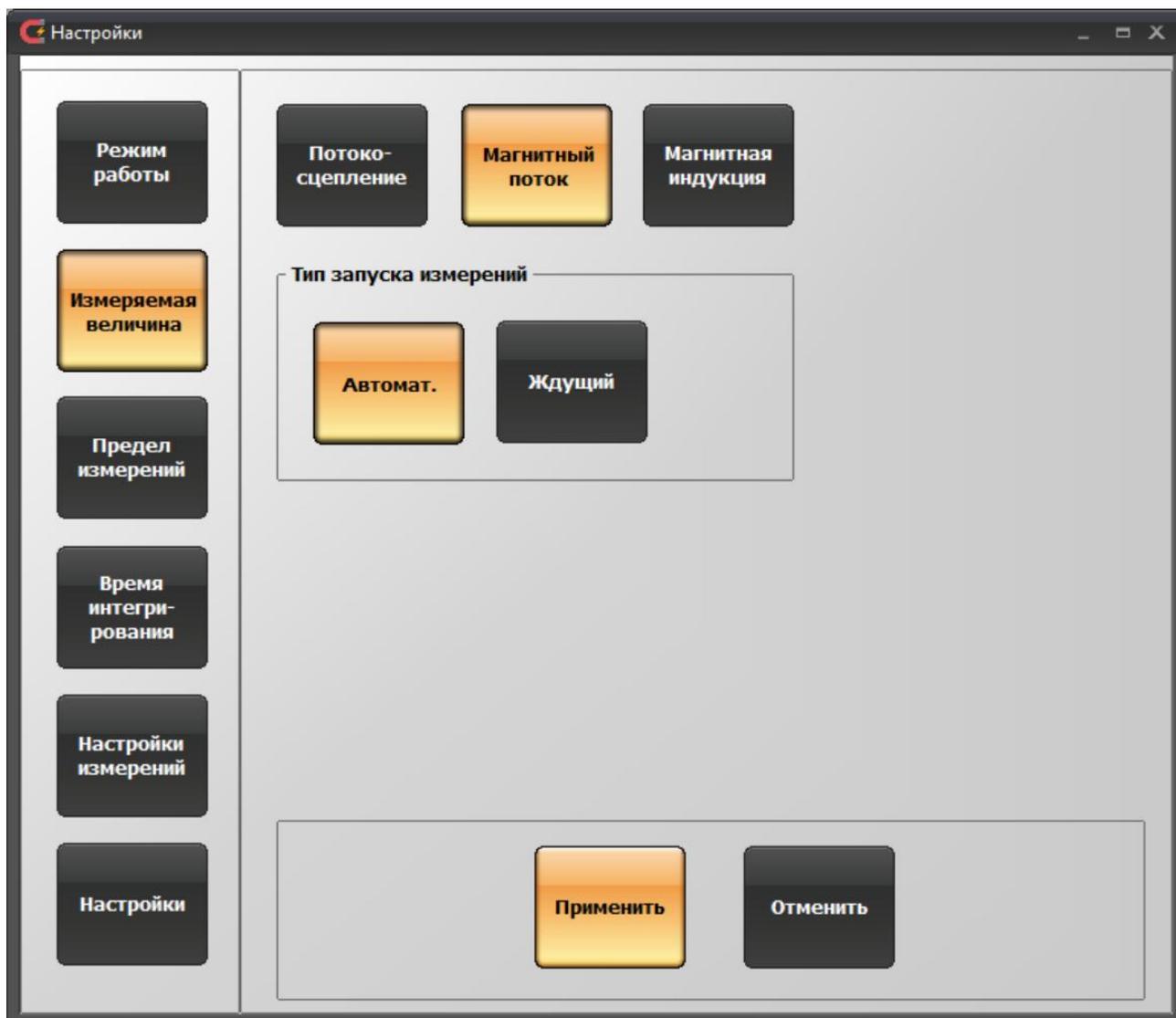


Рисунок 6. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Вид измерений»

3) «Предел измерений» (рисунок 7). Служит для выбора предела измерений. Физически при изменении предела измерений переключается коэффициент усиления блока усилителя ТПУ-2В. В режиме работы прибора «Веберметр» доступны следующие пределы измерений потокосцепления: 10 В·с, 1 В·с, 100 мВ·с, 10 мВ·с, 1 мВ·с, 100 мкВ·с. При выборе пределов измерений следует руководствоваться рекомендациями 3.4.4 и данными таблицы 3.2 настоящего руководства по эксплуатации.

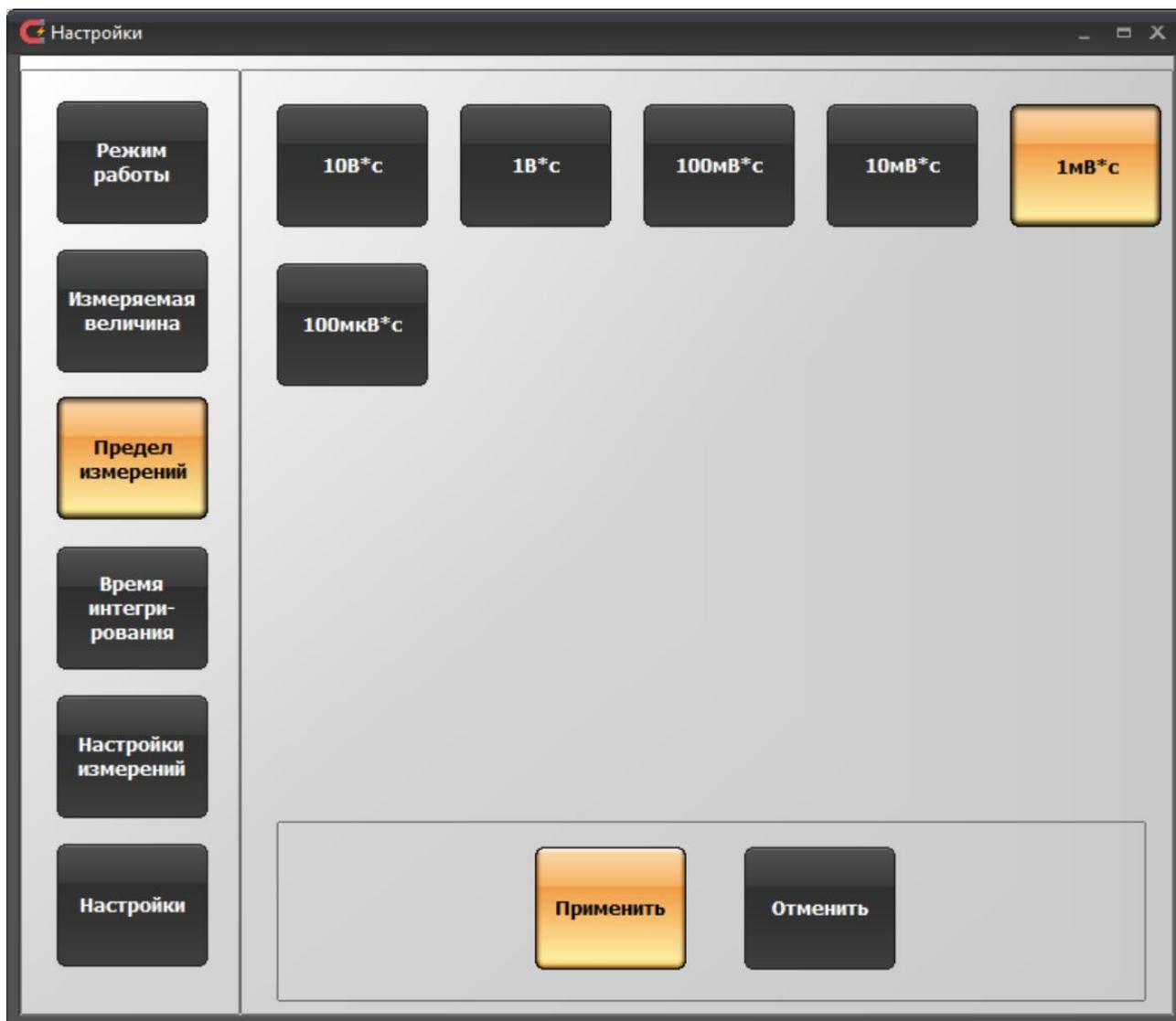


Рисунок 7. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Предел измерений»

4) «Время интегрирования» (рисунок 8). Служит для выбора времени интегрирования. Кнопками доступен выбор предустановленных значений из ряда: 1; 5; 10; 50; 100; 200; 500 мс; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50 с. Также есть возможность установки произвольного времени интегрирования (область «Произвольное время интегрирования», рисунок 9). Для активации этой функции необходимо передвинуть бегунок в положение «Вкл», тогда появится возможность ввести значение длительности интегрирования в поле ввода «Время интегрирования, с». Значение необходимо устанавливать в секундах.

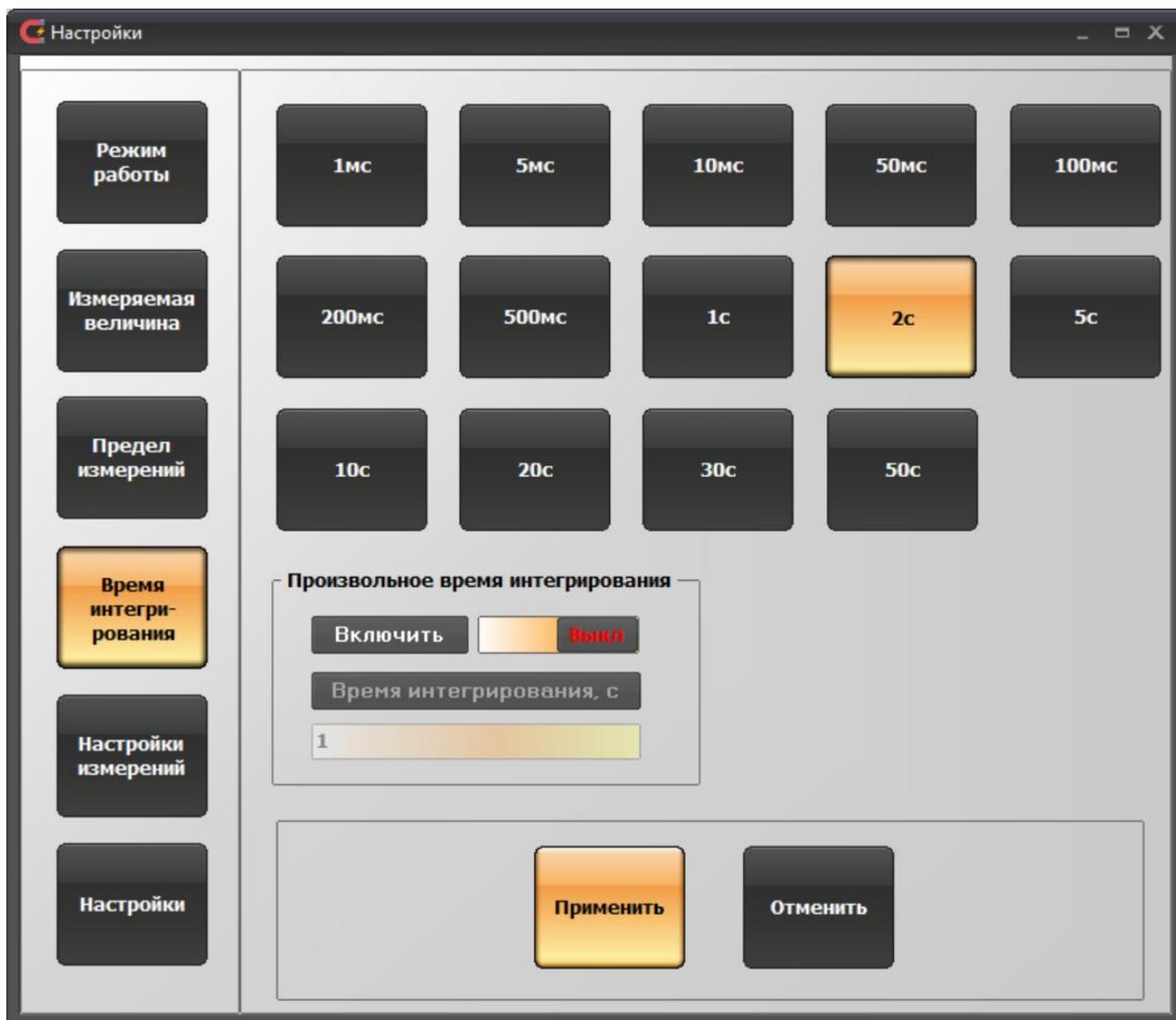


Рисунок 8. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Время интегрирования»



Рисунок 9. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Время интегрирования». Область «Произвольное время интегрирования». Выключено (слева), включено (справа)

5) «Настройки измерений» (рисунок 10). Содержит следующие настройки и параметры:

а) «Количество измерений в серии» позволяет изменять количество измерений. Изменение производится с помощью стрелок вверх и вниз.

б) «Единицы измерений» позволяет выбирать нужные единицы измерения потокосцепления (магнитного потока). Доступны «В\*с» (Вольт-секунда) и «Вб» (Вебер).

в) «Измерительный преобразователь». Служит для выбора вида и номера измерительного преобразователя – измерительной катушки или катушки Гельмгольца. Номер преобразователя выбирается с помощью выпадающего списка (рисунок 11). Параметры измерительных преобразователей можно редактировать (поле «Преобразователь»). Доступные для редактирования параметры: количество витков и средняя площадь в  $\text{см}^2$  для измерительной катушки; постоянная по напряженности магнитного поля в  $\text{м}^{-1}$  и объем исследуемого образца в  $\text{см}^3$  для катушки Гельмгольца (рисунок 12). Для изменения параметров преобразователя необходимо изменить требуемое значение и нажать кнопку «Редактировать».

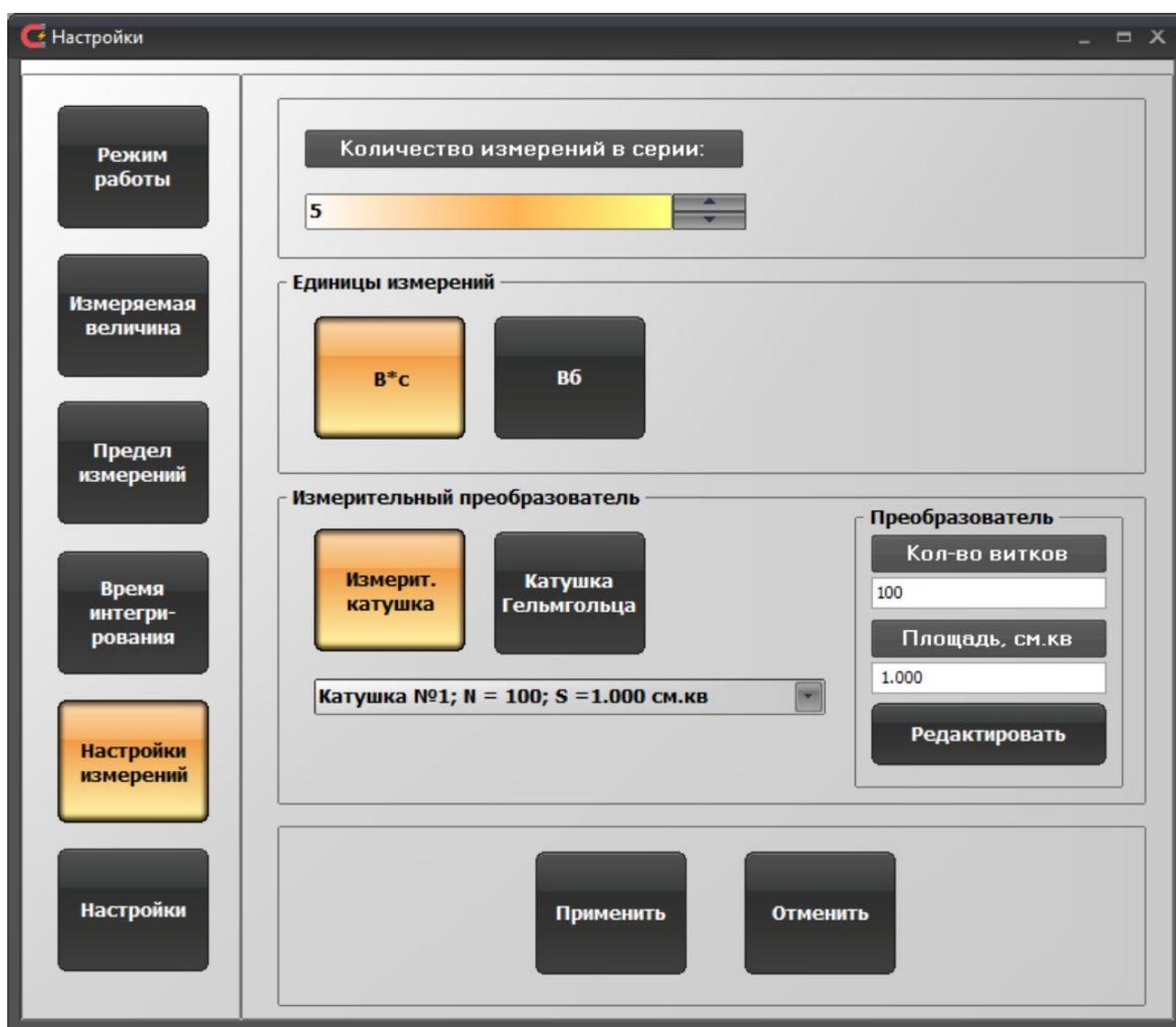


Рисунок 10. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Настройки измерений»

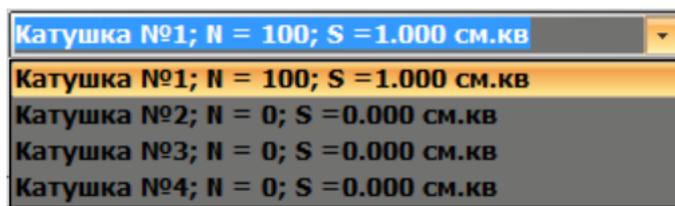


Рисунок 11. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Веберметр». Группа параметров «Настройки измерений». Выбор номера катушки. Установлены параметры только для одной ячейки настроек параметров катушек

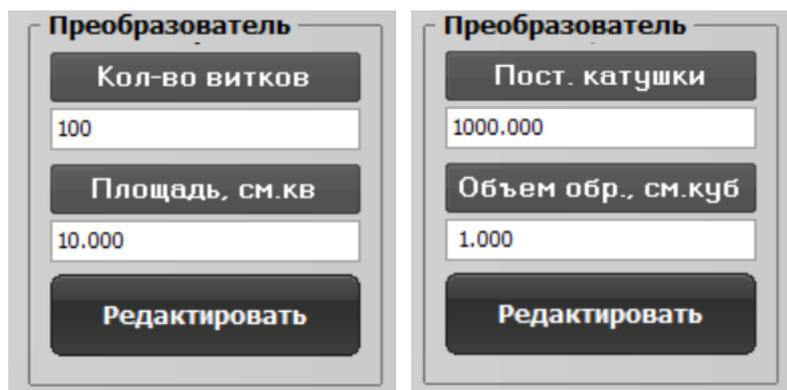


Рисунок 12. Поле «Преобразователь». Слева редактирование параметров измерительной катушки, справа – катушки Гельмгольца

5.2.2.3 Настройки в режиме «Тесламетр» по группам устанавливаемых параметров (на рисунке 13 в качестве примера показан вид главного окна программы управления при измерении параметров переменного поля) описаны ниже.

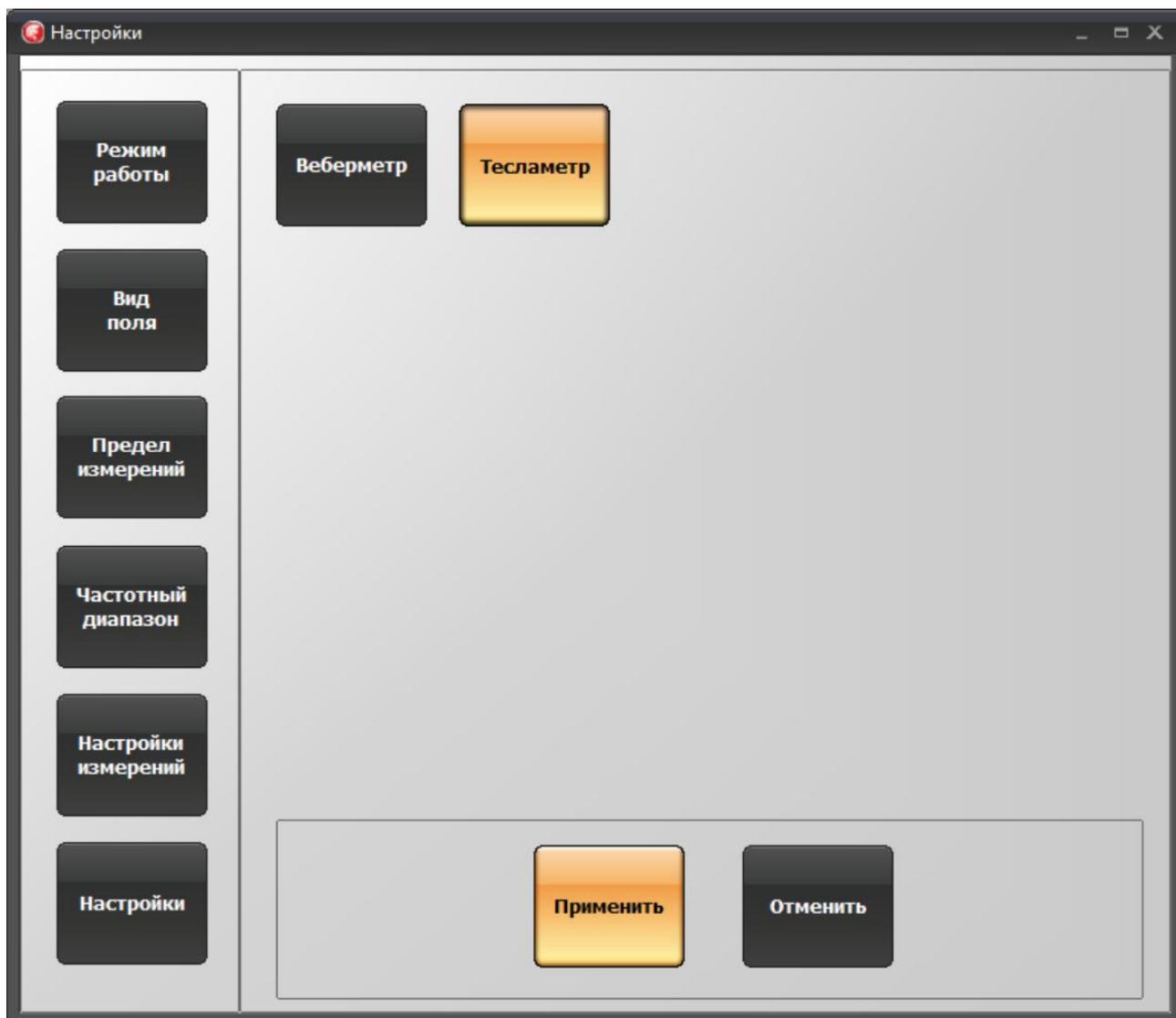


Рисунок 13. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр»

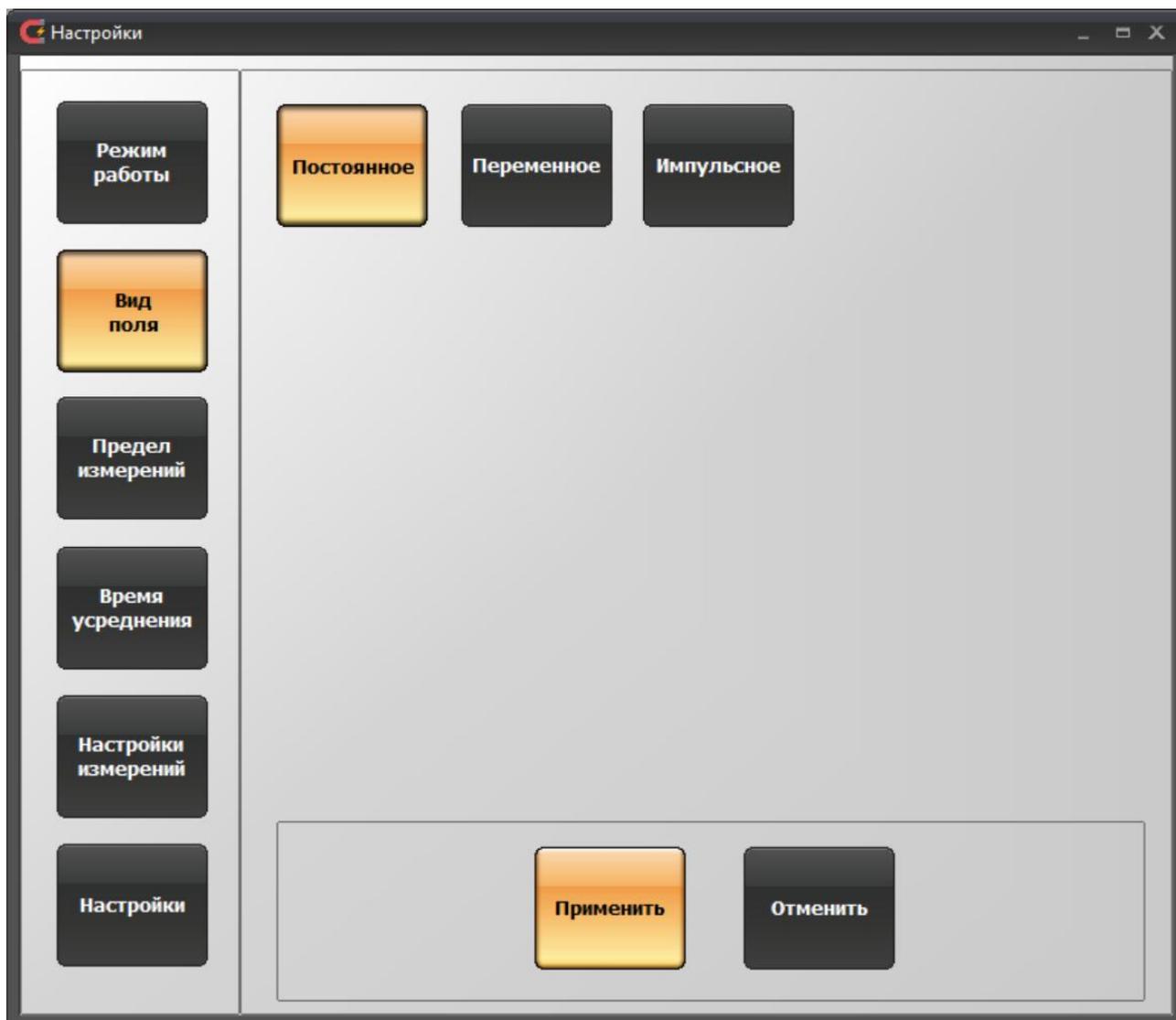


Рисунок 14. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр». Группа параметров «Вид поля»

1) «Вид поля» (рисунок 14). В режиме «Тесламетр» ТПУ-2В позволяет измерять параметры постоянного магнитного поля, переменного магнитного поля (максимальные значения) и импульсного магнитного поля.

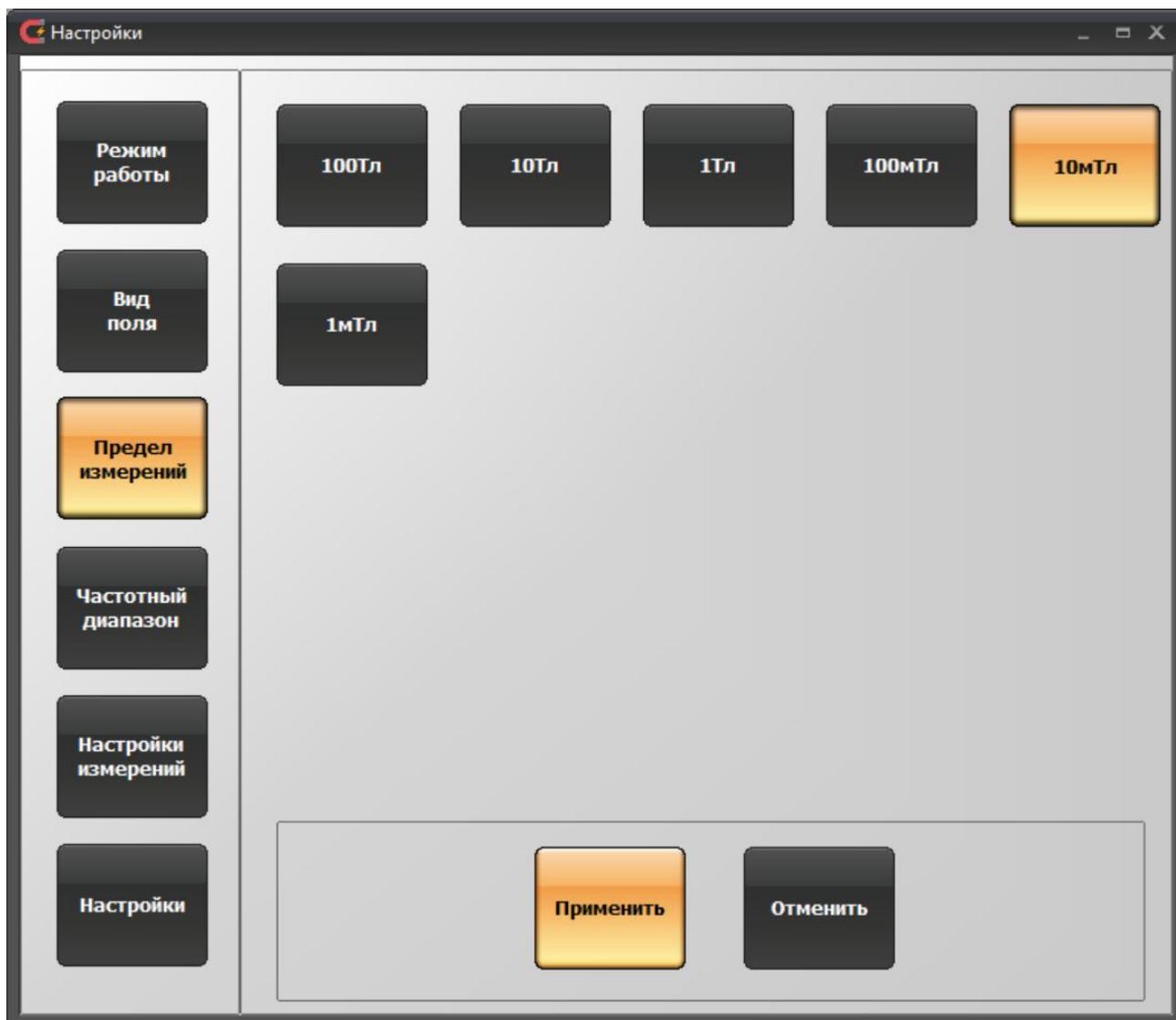


Рисунок 15. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр». Группа параметров «Предел измерений»

2) «Предел измерений» (рисунок 15). Служит для выбора предела измерений. Доступны следующие пределы: 100 Тл, 10 Тл, 1 Тл, 100 мТл, 10 мТл, 1 мТл. Физически переключение предела измерений в зависимости от выбранного измерительного зонда означает переключение коэффициента усиления в усилителе, расположенном в измерительном зонде «С», «М» или в блоке усилителя ТПУ-2В, к которому подключен зонд «И».

3) Группа параметров «Время усреднения», «Частотный диапазон», «Длительность импульса» (рисунки 16 – 18) содержит параметры настройки, которые зависят от вида измеряемого магнитного поля. При измерении магнитной индукции постоянного поля устанавливается параметр «Время усреднения» (рисунок 16), который определяет отрезок времени, в течение которого будет производиться усреднение оцифрованного сигнала. При измерении магнитной индукции переменного поля устанавливается параметр «Частотный диапазон» (рисунок 17), который определяет верхнюю границу обзора спектра переменного магнитного поля (во избежание потери точности измерений следует устанавливать частотный диапазон, в 5 – 10 раз превышающий ожидаемую частоту первой гармоники измеряемого магнитного поля). При измерении магнитной индукции импульсного поля устанавливается параметр «Длительность импульса» (рисунок 18), который задает минимальную длительность импульса, ко-

торый может быть выделен из оцифровки. Физически все три параметра для разных видов поля меняют частоту дискретизации АЦП ТПУ-2В, т.е. чем меньше установленные длительность импульса или время усреднения (или выше частота среза), тем выше частота дискретизации.



Рисунок 16. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр». Группа параметров «Время усреднения», измерение постоянного магнитного поля



Рисунок 17. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр». Группа параметров «Частотный диапазон», измерение переменного магнитного поля

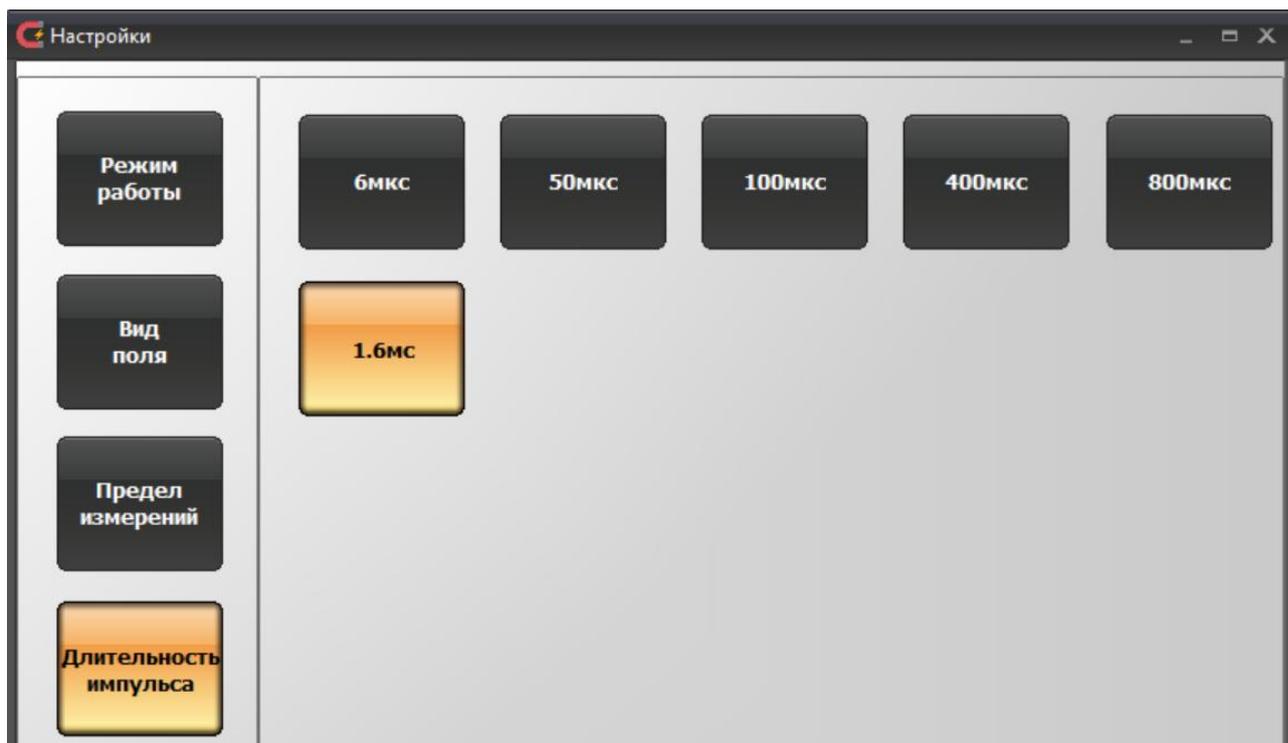


Рисунок 18. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр». Группа параметров «Длительность импульса», измерение импульсного магнитного поля.

4) «Настройки измерений» (рисунок 19). Окно служит для выбора и установки: числа измерений в серии (поле ввода «Количество измерений в серии»); единиц измерения (области «Единицы измерения» со значениями «Тесла», «Гаусс», «Ампер/метр», «Ампер/см»); измерительных зондов (область «Вид зонда», доступны зонды «Зонд «С», «Зонд «М» и «Зонд «И»).



Рисунок 19. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр», измерение импульсного поля. Группа параметров «Настройки измерений»

5) «Настройки» (рисунок 20). Служит для выбора режима обработки результатов измерений в режиме «Тесламетр» на внешнем компьютере или с использованием внутреннего процессора. При выключении внутренней обработки массив оцифрованных отсчетов будет передаваться в компьютер для последующего обсчета, при включенной внутренней обработке в компьютер передаются только результаты обработки. При обсчете на компьютере есть возможность наблюдения оцифровки сигнала и его спектра в графической форме (рисунок 3, кнопки «График» и «Спектр/Данные»).

Окно «Настройки» содержит также информацию о серийном номере ТПУ-2В, идентификаторе метрологически значимой части ПО и изготовителе ТПУ-2В.



Рисунок 20. Окно настроек программы управления ТПУ-2В в режиме «Тесламетр», измерение импульсного поля. Группа параметров «Настройки»

После нажатия кнопки «Применить» настройки будут переданы в ТПУ-2В. В случае успешной установки параметров окно управления настройками закроется. В ином случае будет показано сообщение об ошибке (рисунок 21) и окно управления настройками останется открытым.

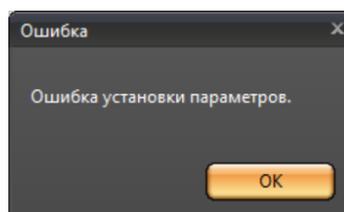


Рисунок 21. Сообщение об ошибке в процессе передачи настроек от ПЭВМ к ТПУ-2В

Нажатием кнопки «Отменить» все изменения параметров и настроек ТПУ-2В будут отброшены, и окно управления настройками закроется.

При запуске измерений будет показано окно с индикатором прогресса выполнения (рисунок 22) в зависимости от выбранного режима (режим обсчета результатов внутри прибора или режим обсчета данных внешним компьютером), заголовок окна с индикатором прогресса выполнения может меняться. Если нажать на кнопку «Прервать» в окне с индикатором прогресса выполнения, текущая операция будет прервана.

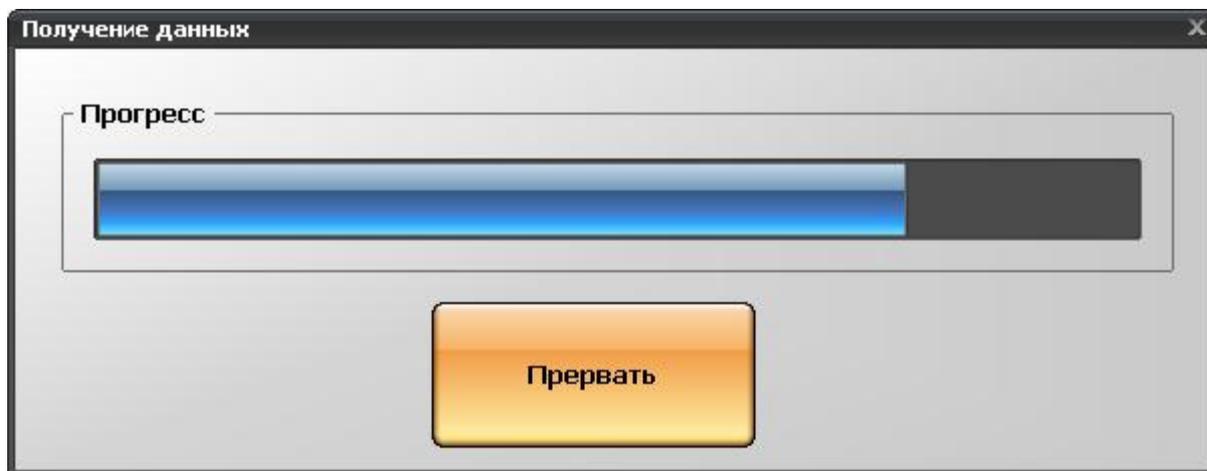


Рисунок 22. Окно индикатора прогресса измерений

### 5.3 Выполнение измерений

#### 5.3.1 Измерения в режиме «Тесламетр», постоянное магнитное поле.

Для иллюстрации на рисунке 23 представлены результаты измерений параметров магнитного поля в серии из 5 измерений. Измерения проводились в мере магнитной индукции на основе постоянных магнитов с использованием зонда «М». В левой части окна в поле «Параметры последнего изм.» выводится значение последнего проведенного измерения, в области «Средние значения» выводятся следующие параметры:

- число проведенных измерений в серии;
- среднее значение результатов измерений магнитной индукции;
- СКО среднего значения.

В логе отображается время начала серии измерений, номер измерений, значение индукции постоянного магнитного поля, полученное в каждом измерении. После окончания серии измерений в лог выводятся средние значения и их СКО. В режиме обсчета данных на компьютере (5.2.2.3 5), рисунок 20) есть возможность посмотреть график значений индукции постоянного магнитного поля за время усреднения.

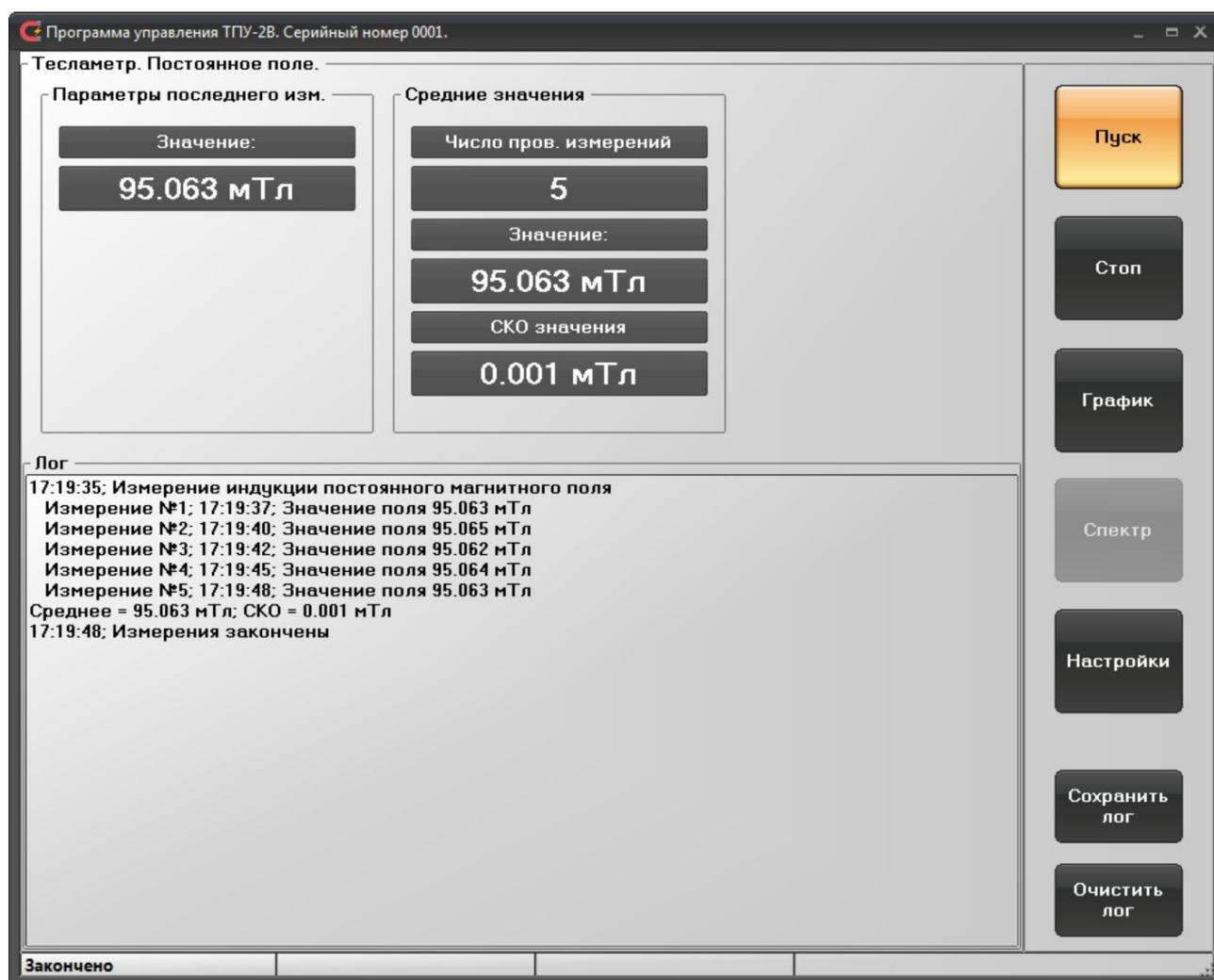


Рисунок 23. Режим «Тесламетр». Результаты измерений магнитной индукции постоянного магнитного поля

### 5.3.2 Измерения в режиме «Тесламетр». Переменное магнитное поле.

Результаты измерения параметров переменного магнитного поля сложной формы показаны на рисунке 24. В области «Параметры последнего изм.» выведено значение амплитуды и частоты гармонической составляющей магнитной индукции с максимальной в данной реализации амплитудой. В области «Средние значения» выводятся средние значения амплитуды и частоты. При этом вычисление средних параметров производится следующим образом. При первом измерении в серии определяется гармоническая составляющая с максимальной амплитудой. Эта гармоническая составляющая будет опорной при дальнейшем вычислении средних значений. Во всех последующих измерениях в серии будет производиться поиск гармонической составляющей с частотой опорной гармоники и, в случае наличия такой составляющей, она будет учитываться при вычислении средних значений амплитуды и частоты и их составляющих. Поле вывода «Число измерений с гарм.» служит для вывода количества измерений в серии, в которых была обнаружена гармоническая составляющая с опорной частотой. В логе отображается время начала серии измерений, амплитудное значение и частота, полученные при каждом измерении. После окончания серии измерений в лог выводятся средние значения и их СКО.



Рисунок 24. Режим «Тесламетр». Результаты измерений параметров переменного магнитного поля

Область вывода «Гармонические составляющие» (рисунок 25) служит для вывода всех остальных гармонических составляющих магнитной индукции, определенных при проведении серии измерений, если они присутствуют в измерительном сигнале.

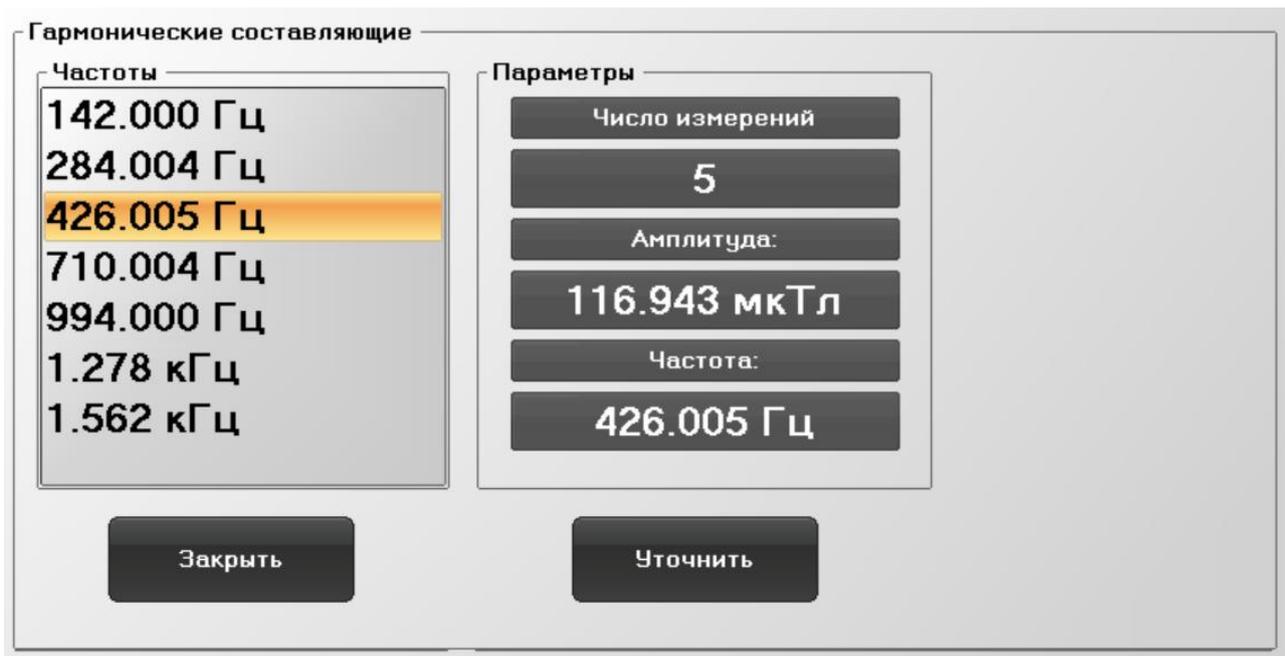


Рисунок 25. Режим «Тесламетр». Результаты измерений параметров переменного магнитного поля. Просмотр обнаруженных гармонических составляющих

В области «Гармонические составляющие» выводятся список частот обнаруженных гармонических составляющих магнитной индукции. При выборе частоты из списка в правой части в области «Параметры» будет отображено число измерений в серии, в которых была обнаружена данная гармоническая составляющая, средняя амплитуда и частота данной составляющей. В режиме обсчета данных на компьютере (рисунок 20 и описание к нему) есть возможность уточнения амплитуды и частоты гармонической составляющей при помощи кнопки «Уточнить». В случае, если измерения проводились с обсчетом внутри ТПУ-2В, будет показано предупреждение о невозможности уточнения (рисунок 26). Кнопка «Закреть» закроет режим просмотра гармонических составляющих.

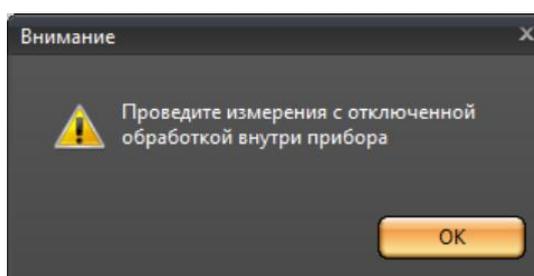


Рисунок 26. Режим «Тесламетр». Предупреждение о невозможности уточнения параметров в данном режиме работы

Если измерения проводились в режиме обсчета данных на компьютере, то есть возможность просмотра формы магнитного поля (во времени) и его спектра с помощью кнопок «График» и «Спектр» (рисунки 27, 28, периодическое магнитное поле треугольной формы). Спектр выводится в децибелах относительно гармонической составляющей с максимальной амплитудой.

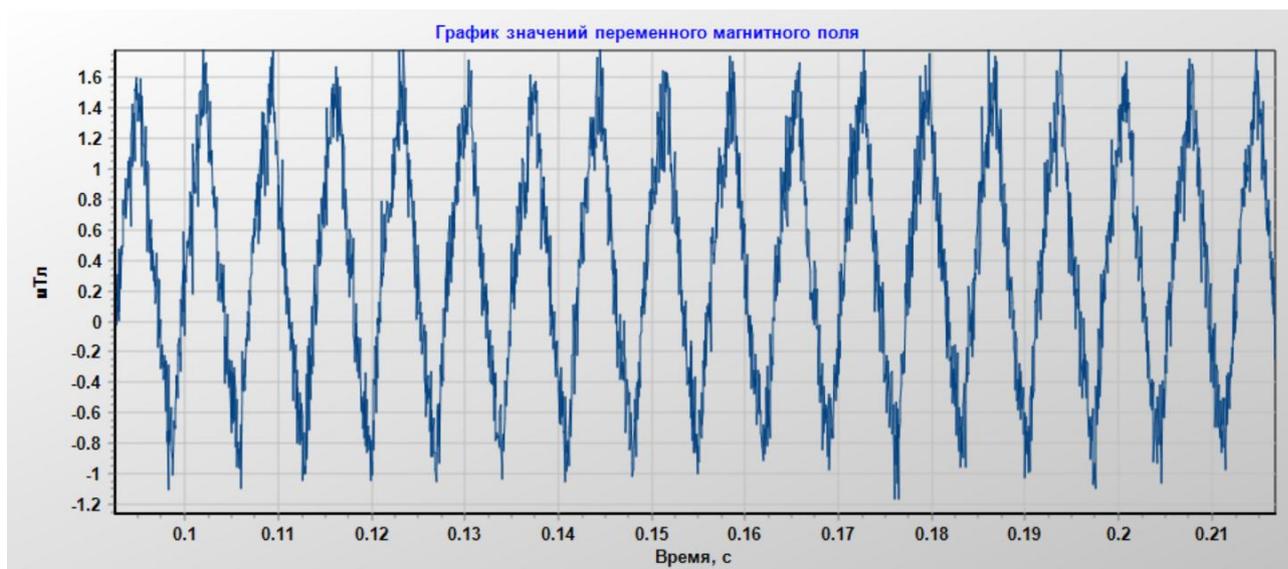


Рисунок 27. Режим «Тесламетр». Представление переменного магнитного поля во временной области

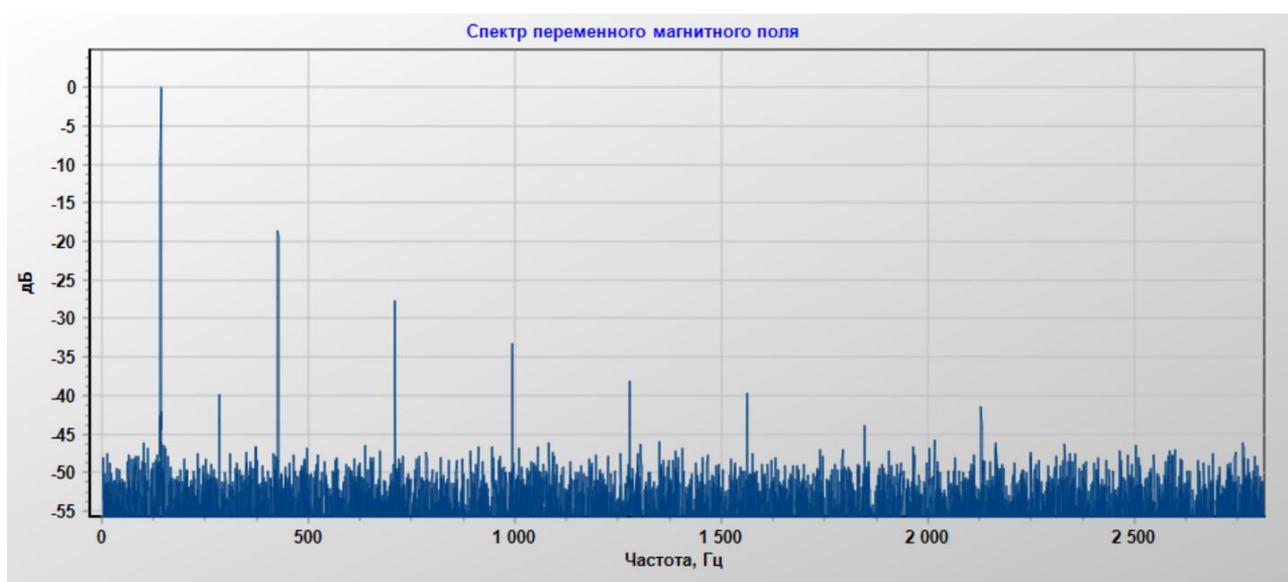


Рисунок 28. Режим «Тесламетр». Спектр переменного магнитного поля

### 5.3.3 Измерения в режиме «Тесламетр». Импульсное магнитное поле

Результаты работы в режиме измерения параметров импульсного магнитного поля показаны на рисунке 29.

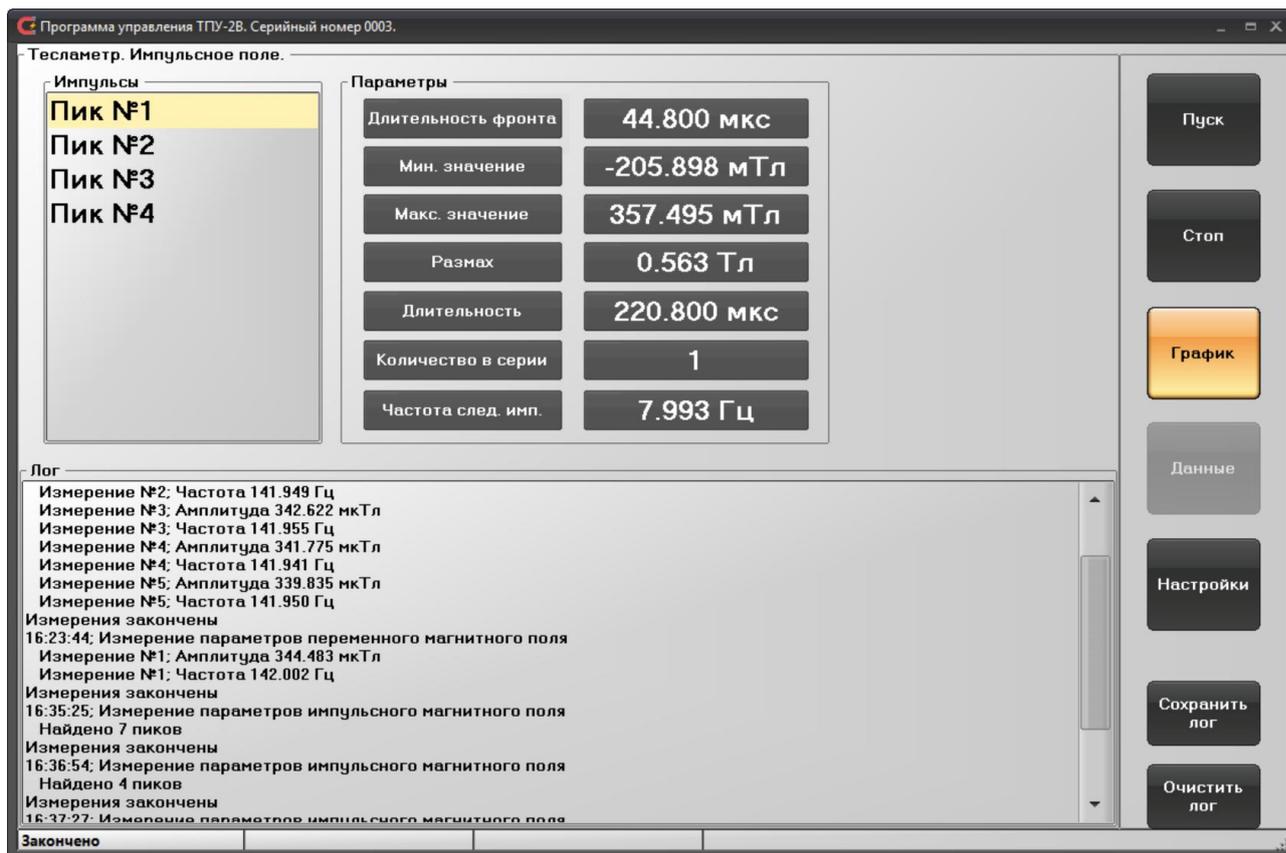


Рисунок 29. Режим «Тесламетр». Результаты работы в режиме измерения параметров импульсного магнитного поля

В окне отображения результатов измерения параметров импульсного магнитного поля выводятся список найденных импульсов (область «Импульсы») и для выбранного из данного списка пика в области «Параметры» выводятся следующие параметры импульса:

- «Длительность фронта» – длительность фронта импульса;
- «Мин. значение» – минимальное значение импульса;
- «Макс. значение» – максимальное значение импульса;
- «Размах» – размах импульса;
- «Длительность» – длительность импульса;

При измерениях параметров импульсного магнитного поля в режиме обработки данных на компьютере есть возможность просмотра формы каждого импульса при помощи кнопки «График» (рисунок 30). Для каждого измеренного импульса в этом режиме есть возможность наблюдения формы сигнала на графике. Сделать это можно, просто выбрав нужный пик из списка «Импульсы». По оси ординат на графике откладываются значения магнитной индукции в теслах.

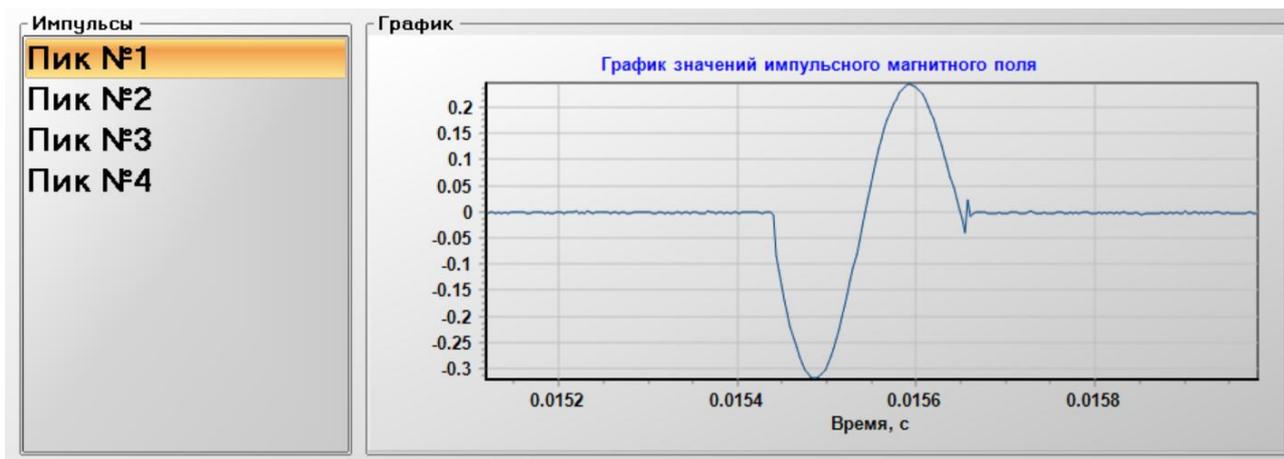


Рисунок 30. График значений импульсного магнитного поля

#### 5.3.4 Режим «Веберметр». Измерение потокосцепления

Особенностью работы в режиме «Веберметр» является то, что в данном режиме перед каждым измерением производится оценка параметров шума, который присутствует на входе прибора, в отсутствие полезного сигнала. Во всех режимах запуска (автоматическом или ждущем) перед тем, как изменять потокосцепление (например, изменять положение образца ферромагнитного материала относительно измерительной катушки), надо будет выполнить эту операцию. Перед каждым запуском измерения в серии на рабочий стол компьютера будет выдаваться предупреждение следующего содержания (рисунок 31):

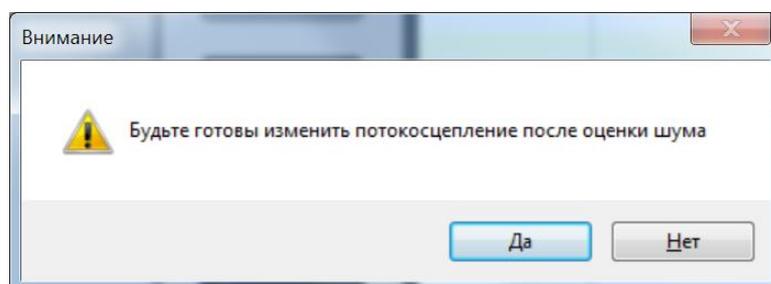


Рисунок 31. Предупреждение о порядке действий при измерении в режиме «Веберметр»

Оператору необходимо контролировать процесс оценки шума (на дисплее тесламетра-веберметра или на экране монитора) и только после его завершения выполнять соответствующие действия по изменению потокосцепления с измерительной катушкой.

Результаты измерения потокосцепления показаны на рисунке 32. В окне в поле «Параметры единичного изм.» выводится значение последнего проведенного измерения в серии, в поле «Средние значения» выводятся число проведенных измерений, среднее значение потокосцепления и СКО среднего значения потокосцепления. Нажав на кнопку «График», можно вызвать и просмотреть график напряжения, снимаемого с измерительной катушки (рисунок 33).

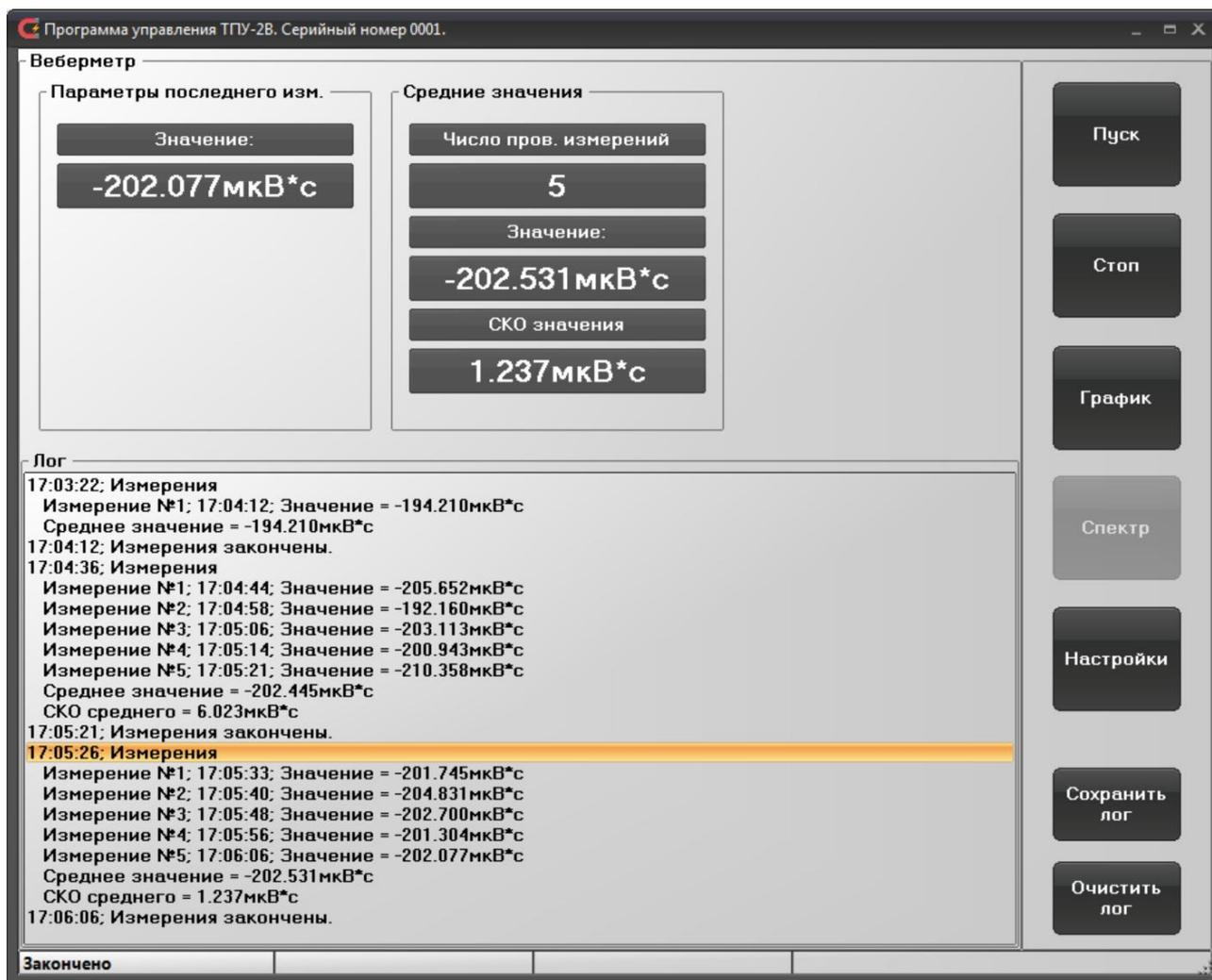


Рисунок 32. Режим «Веберметр». Результаты измерения потокосцепления

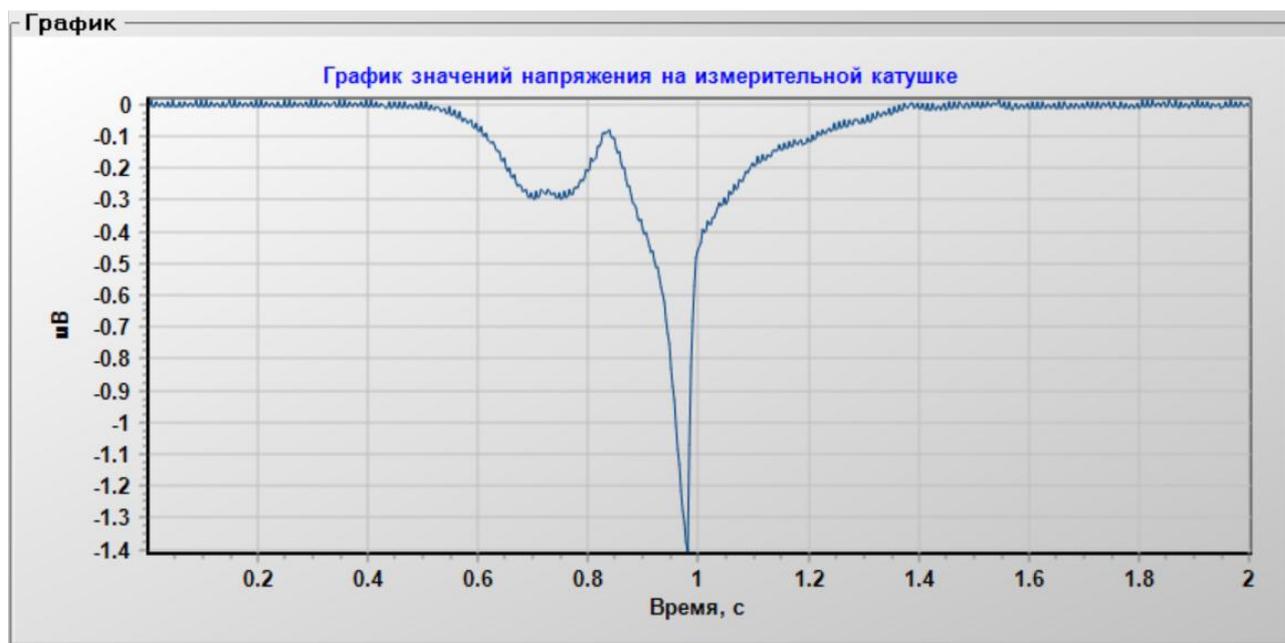


Рисунок 33. Режим «Веберметр». График напряжения на измерительной катушке

