

# МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

№1(31)  
МАРТ 2013

международный научно-технический и производственный журнал

Учредитель:

ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет" (Донецк, Украина)

Сочредитель и издатель:

ООО "Технопарк ДонГТУ "УИНТЕХ" (Донецк, Украина)

Главный редактор  
С.Л. Ерошенко (д.т.н., проф.)  
Редационный совет:  
С.И. Авакянуца (к.т.н., доц.)  
Е.А. Башков (д.т.н., проф.)  
К.С. Богдан (д.т.н., д.ф.н.)  
В.И. Большаков (д.т.н., проф.,  
академик НАН Украины)  
С.М. Горбатюк (д.т.н., проф.) (Россия)  
Д.А. Держин (д.т.н., проф.)  
В.И. Засельский (д.т.н., проф.)  
А.А. Иванко (д.т.н., проф.)  
Ю.В. Консвалов (д.т.н., проф.)  
А.А. Минаев (д.т.н., проф.,  
чл.-корр. НАН Украины)  
В.В. Пашинский (д.т.н., проф.)  
В.Я. Седух (д.т.н., проф.)  
А.Н. Самарин (д.т.н., проф.)  
Е.Н. Самарин (д.т.н., проф.)  
В.В. Суллобов (д.т.н., проф.)  
А.Л. Сотников (к.т.н., доц.)  
А.А. Троицкий (д.т.н., проф.)  
В.И. Фадеев (к.т.н.)  
В.А. Чеченов (д.т.н., проф.)  
В.Л. Шенченко (д.т.н., проф.)  
С.П. Яковлевский (д.т.н., проф.)

\* - штатные сотрудники учредителя

Редактор:

А.Л. Сотников (руководитель проекта),  
О.В. Барановская (фотограф),  
А.В. Кулик, А.В. Рыбухин

Адрес: 83001, Украина, Донецк,  
ул. Артёма, 55

Телефоны: +380 (02) 348-50-55,  
(06) 029-44-30

Эл. почта: m-lab@ukr.net

Интернет: metal.donntu.edu.ua

Представительство в России:

ООО "ТОР Консалт"

121106, Россия, Москва,

ул. Костомаровская, д. 27, корп. 4

Телефон/факс: +7 (495) 776-95-02

Эл. почта: info@tor-consult.ru

Интернет: www.tor-consult.ru

"Металлургические  
процессы и оборудование"  
2013. №1(31)

ISSN 1816-1200

Издаётся с мая 2005 г.

Периодичность издания: 4 раза в год.

Подписной индекс и каталог:

"Пресса Украины" – 38832

"Газеты, Журналы" (Агентство

САО "Роспечать") – 21897

Свидетельство

о государственной регистрации

№ 17621-6271/ПР от 24.12.2010

Свидетельство о внесении записей

в Государственный реестр

субъектов общественной деятельности

ДН 1017 от 21.08.2002

За содержание статей и их

оригинальность несут ответственность

авторы. Мнение редакции может

не совпадать с мнением авторов.

За содержание рекламных материалов

ответственность несет рекламодатель.

Подписано в печать

по решению Издательского Совета

ГВУЗ "Донецкий национальный

технический университет"

Принято №2 от 22.03.2013

Формат 60×84 1/8. Заказ 2061.

Тираж 1600 экз. Печать

ООО "Торд Компьютер", 2013

© А.А. Сотников, 2008-2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Новости отрасли ..... 4

### ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО

**Крымов В.И.**  
Влияние характеристик цинкового порошка на толщину  
и коррозионную стойкость диффузионного цинкового слоя ..... 6

**Палаткин С.В., Зюбан Н.А., Руцкий Д.В.**  
Исследование влияния скорости разлива на структуру и дефекты стального слитка ..... 12

**Федосов А.В., Цупрун А.Ю., Пашук Д.В., Северенчук А.А.**  
Анализ влияния обжатия роликами МНПЗ непрерывнолитого слитка  
на формирование конечных размеров слэбов ..... 20

### ОБОРУДОВАНИЕ

**Светличный А.В., Землянский А.И., Кривоцов А.И.,  
Качеровский И.М., Нестеренко А.А.**  
Ограничение динамических нагрузок обжимного стана средствами электропривода ..... 28

**Радюк А.Г., Титлянов А.Е., Герасимова А.А., Горбатюк С.М.**  
Повышение качества поверхности непрерывнолитых слэбов путем нанесения  
покрытия на рабочую поверхность узких стенок кристаллизатора МНПЗ ..... 38

### ВИБРАЦИЯ МАШИН: ИЗМЕРЕНИЕ, СНИЖЕНИЕ, ЗАЩИТА

**Сотников А.Л., Нагорный В.М., Орбачев А.Ю.,  
Птуха С.В., Родионов Н.А.**  
Нормирование режимов работы и уровня вибрации  
механизма качания кристаллизатора МНПЗ ..... 44

**Паршута Е.А., Камнов Е.В.**  
Возможные формы изменения динамического состояния  
виброзащитных систем ..... 55

### ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Барков А.В., Борисов А.А.**  
Современные возможности диагностирования машин  
с электроприводом по току двигателя ..... 61

**Задорожный Ю.Г., Рябов С.И., Девгий Ю.М.**  
Виброкалибровочный комплекс ВКК-128 ..... 66

**Романов Р.А.**  
Проект стандарта по центровке промышленного оборудования ..... 71

### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.Л., Зайцев Б.Ф.**  
Аннотация монографии "Задачи термостойкости, вибродиагностики  
и ресурса энергетических агрегатов" ..... 77

### ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в журнале  
"Металлургические процессы и оборудование" в 2012 г. .... 78

Указатель статей, опубликованных в журнале  
"Вибрация машин: измерение, снижение, защита" в 2012 г. .... 80

Бланк заказа научно-технической литературы ..... 82

Требования к статьям, направляемым в редакцию ..... 91

Об издании ..... 92

Журнал реферруется – Институтом проблем регистрации информации Национальной академии наук Украины (ИПРИ НАН). Интернет: [www.ipri.kiev.ua](http://www.ipri.kiev.ua)  
– Всероссийским институтом научной и технической информации Российской академии наук (ВИНТИ РАН). Интернет: [www2.vinti.ru](http://www2.vinti.ru)

– Перечнем ведущих рецензируемых научных журналов Высшей аттестационной комиссии (ВАК) России. Интернет: [vak.ed.gov.ru](http://vak.ed.gov.ru)

Журнал включен в – "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ). Интернет: [elibrary.ru](http://elibrary.ru)

– Международную систему индексирования и ранжирования журналов "IndexCoperticus Journals Master List". Интернет: [journals.indexcoperticus.com](http://journals.indexcoperticus.com)

– Международную справочную систему по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Интернет: [www.ulrichweb.com](http://www.ulrichweb.com)

Ю.Г. Задорожный /к.т.н./, С.И. Рябов, Ю.М. Довгий  
 ООО "Пьезосенсор" (Чернигов, Украина)

## ВИБРОКАЛИБРОВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС ВКК-128

*Показана возможность организации процесса поверки и калибровки вибропреобразователей с помощью разработанного виброкалибровочного комплекса ВКК-128. Рассмотрены особенности организации работы программного обеспечения виброкалибровочного комплекса – измерения параметров вибрации в режимах определения коэффициента преобразования, подачи вибрации в заданных контрольных точках, регистрации амплитудной и амплитудно-частотной характеристик.*

В измерительной технике большое значение имеет периодическая проверка (поверка и калибровка) первичных преобразователей (датчиков). Ее качество (погрешность) оказывает существенное влияние на получение корректной информации от контролируемого объекта. К одним из таких датчиков относятся вибропреобразователи, находясь в активной зоне действия вибрации объекта, они постоянно изменяют свои характеристики в процессе эксплуатации.

Существующие технологии поверки и калибровки вибропреобразователей основаны на точном исполнении требований соответствующих стандартов. При этом требуется специализированная и дорогостоящая контрольно-измерительная аппаратура. Стоимость ее значительна, а операции по проверке датчиков, как правило, выполняются вручную. Т.е. оператору необходимо самостоятельно задать контролируемый параметр, регулировать его изменение и при этом фиксировать результаты контроля в протоколе. Такая технология требует привлечения специалистов высокой квалификации. Кроме того, они должны быть специально обучены и иметь навыки проведения метрологических измерений. Поэтому актуальными являются задачи разработки виброизмерительных и калибровочных комплексов, предназначенных для проверки

вибропреобразователей в процессе их изготовления и эксплуатации в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Специалистами ООО "Пьезосенсор" был разработан соответствующий виброкалибровочный комплекс ВКК-128, обеспечивающий проведение операций поверки и калибровки вибропреобразователей как в ручном, так и в полуавтоматическом режимах.

Виброкалибровочный комплекс ВКК-128 предназначен для проверки вибропреобразователей со встроенной электронной схемой либо без нее в заводских лабораториях. Комплекс ВКК-128 (рисунок 1) состоит из вибростенда ВС-110 (ВС), блока электронного (БЭ) и персонального компьютера (ПК) со специализированным программным обеспечением (ПО). Контрольные измерения параметров вибрации производятся с помощью вибропреобразователя ВПИ-094. Контролируемый вибропреобразователь и ВС подключаются к соответствующим разъемам БЭ комплекса.

На передней панели БЭ ВКК-128 расположены разъемы следующих входов (рисунок 2):

$Q_e$  – вход для подключения контрольного (эталонного) вибропреобразователя ВПИ-094 с выходом "по заряду" (размерность входа –  $ПКл/(м/с^2)$ );

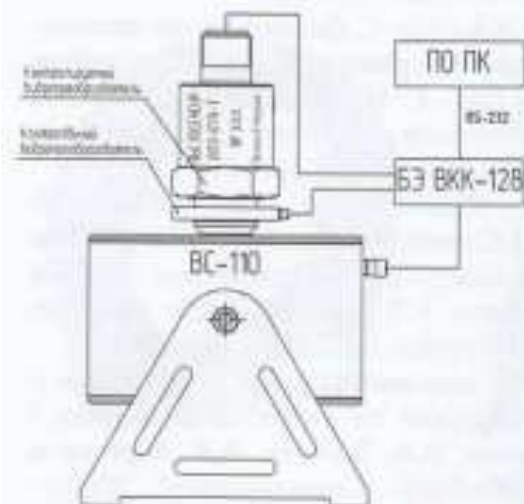


Рисунок 1 – Схема устройства (слева) и внешний вид (справа) ВКК-128



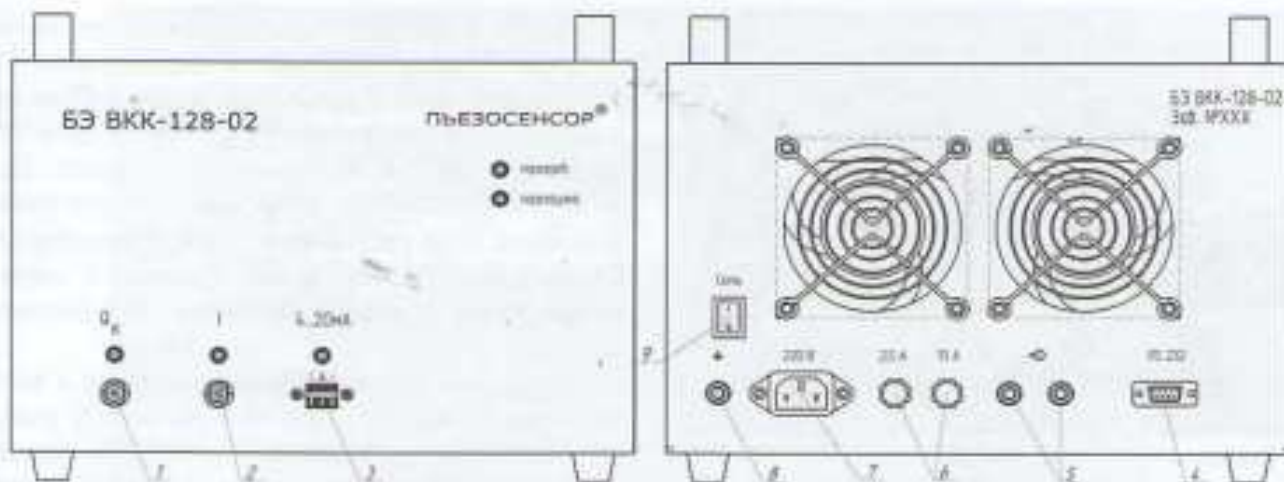


Рисунок 2 – Внешний вид спереди (слева) и сзади (справа) БЗ ВКК-128:

1 – вход для контрольного датчика; 2 – вход "токовый"; 3 – вход 4...20 мА;

4 – разъем связи с ПК – RS-232; 5 – выход генератора для подключения ВС;

6 – предохранители; 7 – разъем питания 220 В; 8 – клемма заземления; 9 – тумблер включения

1 – вход для подключения контролируемых вибропреобразователей ВПЭ-078-Т, ВПЭ-079 и ВПЭ-080-Т с чувствительностью по выходу 10 мкА при изменении виброускорения на  $1 \text{ м/с}^2$ , при напряжении питания  $7,5 \pm 0,5 \text{ В}$  (изменение амплитуды тока в линии связи, размерность входа –  $\text{мкА}/(\text{м/с}^2)$ );

4...20 мА – вход для подключения вибропреобразователей ВПЭ-085-Т-32 с выходом "по (постоянному) току" от 4 до 20 мА с коэффициентом  $\text{мА}/(\text{мм/с})$  пропорционально виброскорости. Схема подключения двухпроводная при напряжении питания  $24 \pm 6 \text{ В}$  (размерность входа –  $\text{мА}/\text{мм}$ ).

Корпус БЗ имеет прямоугольную форму и изготовлен из металла, окрашенного износостойкой эмалью.

Вибропреобразователи с выходом "по току" и с выходом 4...20 мА (пропорционально среднеквадратичному значению (СКЗ) виброскорости) калибруются по технологическому циклу на основе использования табличных данных режимов тестирования заданной модели датчика.

Табличные данные включают заданный ряд частот (или контрольные точки) генерируемой вибрации. Контрольные точки регламентированы требованиями к аппаратуре для контроля вибрации [1].

Калибровка датчиков вибрации производится в следующем порядке. Синусоидальный электрический сигнал от БЗ подается на ВС, который преобразует его в вибрацию с заданной частотой и амплитудой. Вибрация воспринимается одновременно контрольным и контролируемым вибропреобразователями, которые подключены к соответствующим разъемам БЗ. В БЗ сигналы нормализуются, масштабируются, фильтруются в измерительной полосе и оцифровываются (рисунок 3). Результаты измерения передаются для дальнейшей обработки и анализа на ПК. ПО виброкалибровочного комплекса обеспечивает его работу в следующих режимах: измерение вибрации, измерение коэффициента преобразования ( $K_{пр}$ ), измерение амплитудной ( $A_X$ ) и амплитудно-частотной ( $A_{ЧХ}$ ) характеристик. Измерения производятся по контрольным точкам.

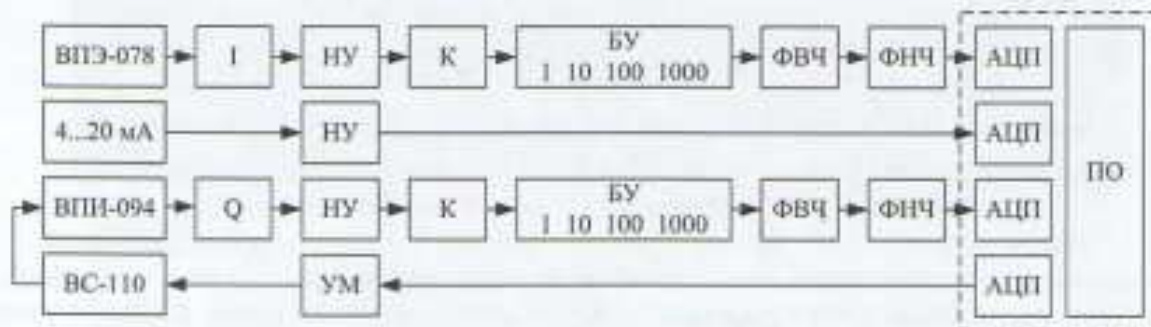


Рисунок 3 – Функциональная схема БЗ ВКК-128:

I – вход "по току"; Q – вход по заряду; 4...20 мА – вход по постоянному току; К – коммутатор; НУ и БУ – нормализующий и масштабирующий усилитель; ФВЧ и ФНЧ – фильтр высоких и низких частот; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь микроконтроллера





Рисунок 4 – Установка датчика ВПЭ-085-Т на вибростоле ВС ВКК-128

Модель контролируемого вибропреобразователя, предварительно установленного на ВС (рисунок 4), выбирается из списка (ВПЭ-078-Т, ВПЭ-079-Т, ВПЭ-080-Т и ВПЭ-085-Т) 1 (рисунок 5) в независимом ПО ВКК-128 "Редактор модели датчика". Одновременно с выбором модели вибропреобразователя автоматически задается размерность индикатора вывода значений контролируемого канала 3 и индикатора коэффициента преобразования 2. Контролируемый 3 и контрольный 4 каналы имеют одну шкалу "XXXX", "X,XXX", "XX,XX" и "XXX,X". Выбор шкалы осуществляется в ручном или автоматическом режимах. Для включения автоматического

выбора шкалы используется переключатель "Авт. выбор" 8. Сигналы контрольного 4 и контролируемого 3 каналов регистрируются одновременно и отображаются в рабочем окне ПО во временной 5 и частотной 13 областях. При этом рассчитывается коэффициент несинусоидальности 6 по результатам расчета спектра как отношение СКЗ основного сигнала к корню квадратному из суммы квадратов СКЗ боковых частот.

Измерение АХ и АЧХ производится в автоматическом режиме. При измерении АХ значения частоты и амплитуды для данной модели датчика устанавливаются в ПО "Редактор модели датчика". Запуск автоматического режима калибровки осуществляется нажатием кнопки "СТАРТ" (рисунок 6). В процессе измерения производится цифровая коррекция результатов измерения [2]. На заданной частоте подается уровень вибрации с отклонением не более 10 % от контрольной точки. Затем проводится измерение сигнала с калибруемого датчика и пересчет  $K_{np}$  для конкретной контрольной точки. После чего измерение проводится для следующей контрольной точки. По окончании проведения измерений по всем точкам данные фиксируются в протоколе измерений.

Расчет нелинейности АХ выполняется по формулам:

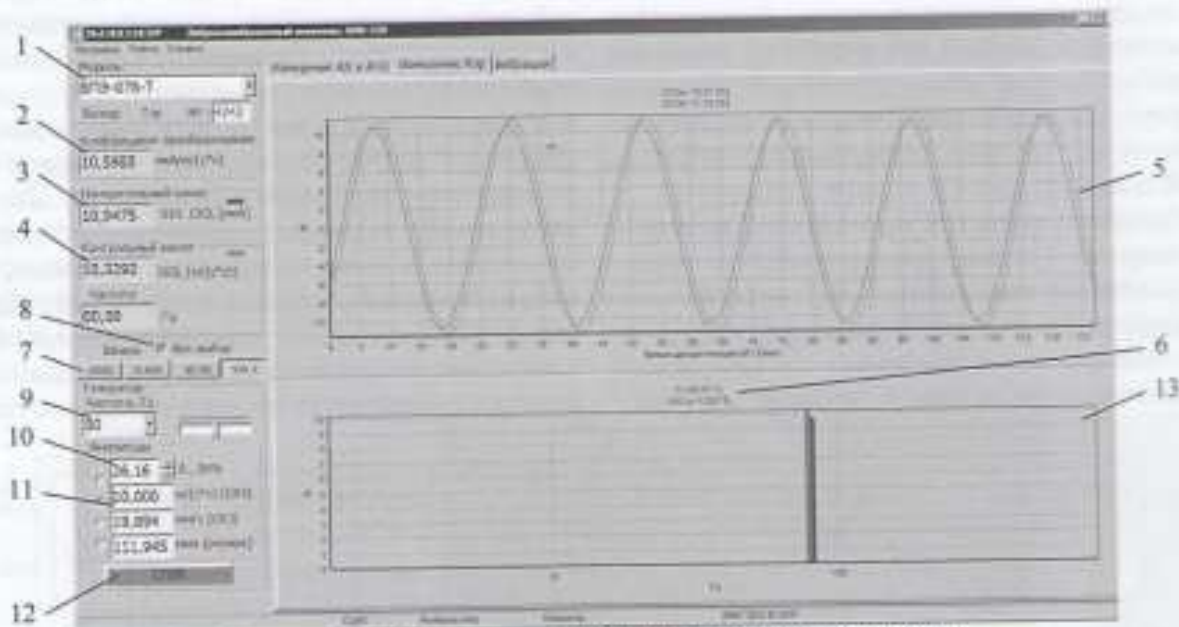


Рисунок 5 – Рабочее окно ПО ВКК-128 "Измерение  $K_{np}$ ":

- 1 – таблица выбора модели датчика и типа его выхода; 2, 3 и 4 – индикатор значений, соответственно, коэффициента преобразования, контролируемого и контрольного каналов;
- 5 и 13 – временная форма и спектр измерительного и контрольного сигналов; 6 – коэффициент несинусоидальности; 7 – переключатель выбора диапазона измерения выходных сигналов;
- 8 – метка включения автоматического выбора диапазона измерения входных сигналов;
- 9 – таблица выбора частоты генератора по заданным точкам; 10 – таблица выбора амплитуды вибрации (процент от максимальной мощности); 11 – таблица выбора амплитуды вибрации в режиме виброускорения, виброскорости и виброперемещения; 12 – кнопка СТАРТ/СТОП



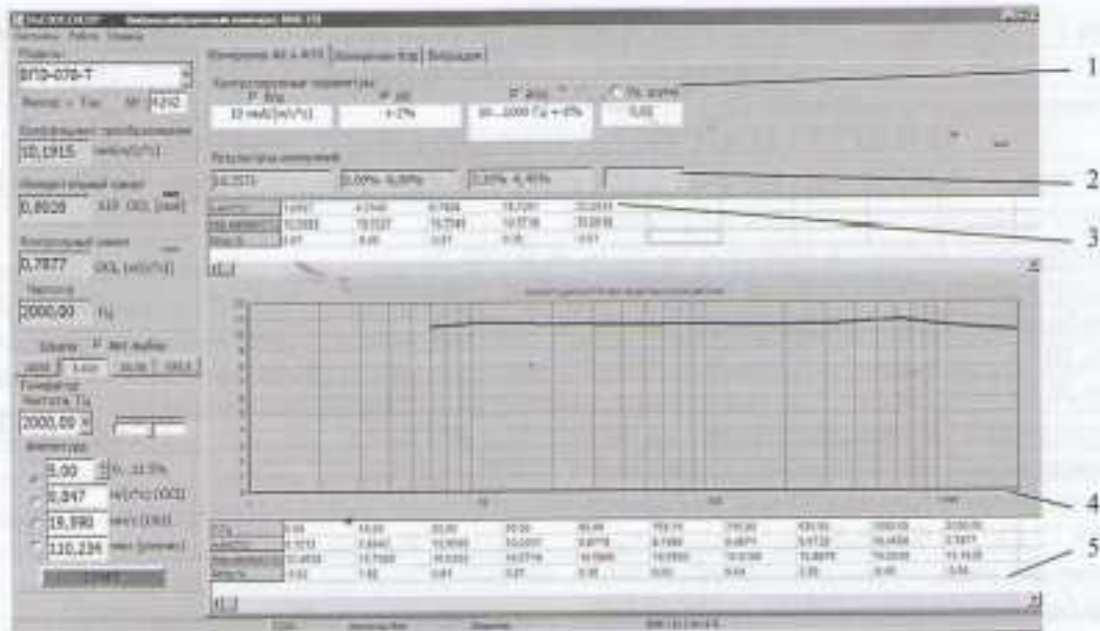


Рисунок 6 – Рабочее окно ПО ВКК-128 "Измерение АХ и АЧХ":

1 и 2 – соответственно контролируемые параметры и результаты измерений (Knp, АХ, АЧХ и уровень шума); 3 и 5 – протокол измерения, соответственно, АХ и АЧХ; 4 – график АЧХ датчика

$$\sigma_{Knp,i} = \frac{Knp_i - Knp_{cp}}{Knp_{cp}} 100\%,$$

$$Knp_{cp} = \frac{\sum Knp_i}{i},$$

где  $Knp_i$  – коэффициент преобразования в текущей контрольной точке;  $Knp_{cp}$  – среднее значение коэффициента преобразования;  $i$  – контрольная точка.

При измерении АЧХ значения базовой частоты и амплитуды для данной модели датчика устанавливается также в рабочем окне ПО "Редактор модели датчика". В процессе измерения на частоте, заданной из таблицы для конкретной модели датчика, подается уровень вибрации с отклонением не более 25 % от контрольной точки. Затем производится измерение сигнала с калибруемого датчика и пересчет  $Knp$  для конкретной точки. После чего аналогично измере-

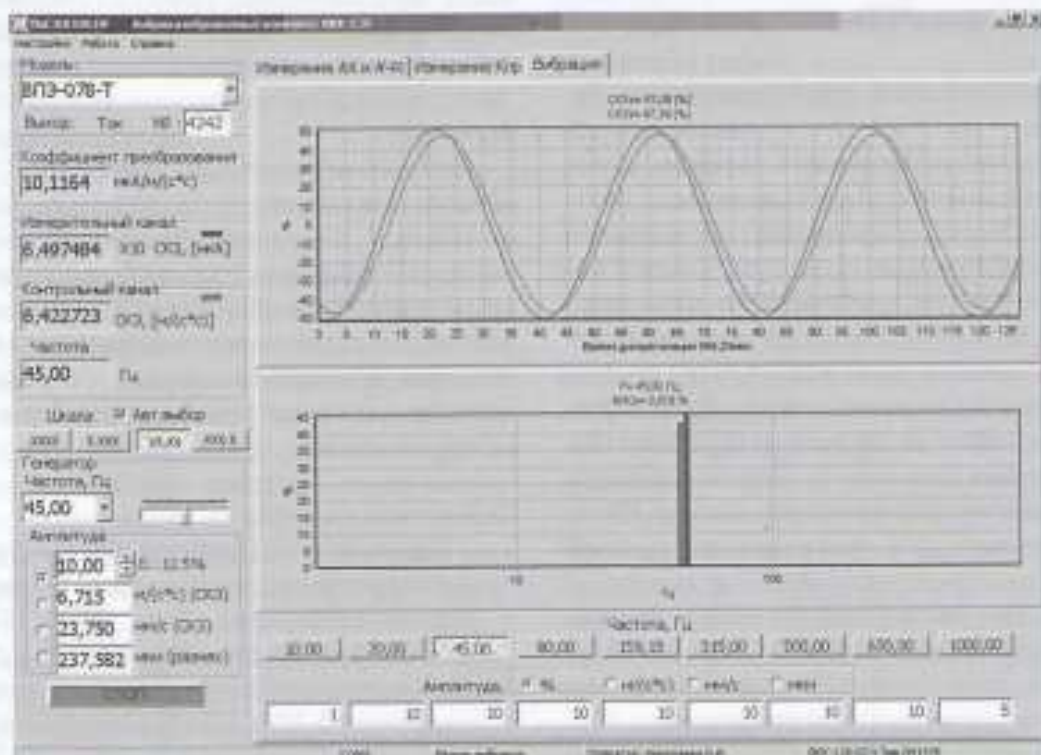


Рисунок 7 – Рабочее окно ПО ВКК-128 "Вибрация"



Таблица 1 – Основные технические характеристики виброкалибровочного комплекса ВКК-128

Параметр	Значение
Частоты воспроизведения вибрации, Гц	10; 20; 45; 80; 159,15; 315; 500; 630; 1000
Базовые частоты	45; 80; 159,15
Пределы допускаемой относительной погрешности при воспроизведении вибрации заданной частоты, не более, %	±0,5
Пределы допускаемой относительной погрешности, при измерении СКЗ виброускорения в рабочем диапазоне частот, не более, %:	
– до 20 Гц	±4
– от 20 до 1000 Гц	±2
Диапазон измерений СКЗ виброускорения на частоте 45 и 80 Гц, м/с <sup>2</sup>	от 0,5 до 25
Пределы допускаемой относительной погрешности при измерении СКЗ виброускорения в <i>Kпр</i> при 10 м/с <sup>2</sup> на базовых частотах (45, 80 и 159,15 Гц), не более, %	±1
Коэффициент нелинейных искажений вибростенда, не более, %:	
– на базовых частотах (45, 80 и 159,15 Гц)	5
– на остальных частотах внутри измерительного диапазона	10
Размеры вибростола, мм	60×60
Максимальная масса контролируемых вибропреобразователей, не более, кг	0,25
Размеры БЭ ВКК-128, мм	300×350×240
Масса БЭ ВКК-128, кг	15,5
Размеры ВС-110, мм	200×250×220
Масса ВС-110, кг	9

ние проводится для следующей контрольной точки. После проведения измерений по всем точкам данные фиксируются в протоколе измерений. Расчет нелинейности АЧХ выполняется по формуле:

$$\sigma_{Kпр} = \frac{Kпр_i - Kпр_{баз}}{Kпр_{баз}} 100\%,$$

где *Kпр<sub>баз</sub>* – коэффициент преобразования на базовой частоте.

Для проведения измерения уровня шума вибропреобразователя следует включить соответствующий режим измерения, активировав измерительную функцию с помощью переключателя "Ур, шума" (рисунок 6). При этом переключатели АХ, АЧХ и *Kпр* будут неактивными. Далее следует нажать кнопку "СТАРТ".

В этом режиме измерение параметров вибрации производится контрольным и контролируемым каналами (рисунок 7). Подача вибрации осуществляется по контрольному каналу. Измерение производится с цифровой коррекцией полученных значений АХ и АЧХ по контрольным точкам. При получении значений, находящихся между заданными точками, пересчет корректирующих коэффициентов выполняется методом кусочно-линейной аппроксимации. Погрешность измерительных каналов не превышает 2 % в базовых точках и 4 % ниже частоты

20 Гц.

Технические характеристики виброкалибровочного комплекса ВКК-128 представлены в таблице 1.

Разработанный комплекс используется при проверке вибропреобразователей и настройке систем контроля вибрации на Запорожской тепловой электростанции ПАО "ДТЭК Днепроэнерго" (Украина) и ОП "Южно-Украинская АЭС" (Южноукраинск, Украина).

#### Выводы

Виброкалибровочный комплекс ВКК-128 обеспечивает проведение операций поверки и калибровки вибропреобразователей с токовым выходом с погрешностью не более 2 % в сравнении с эталонным образцом. Операции проверки датчиков вибрации производится в полуавтоматическом или автоматическом режимах, что значительно упрощает проведение работ и снижает их трудоемкость.

#### Список литературы

- ГОСТ 25275-82 Приборы для измерения вибрации вращающихся машин. Общие технические требования. Введ. 25.05.1988. – М: Изд-во стандартов, 1993. – 9 с.
- Задорожний Ю.Г. Виброметры с цифровой коррекцией АЧХ / Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2006. – №1. – С. 54-56.