

# Принципы построения и особенности функционирования системы виброконтроля и диагностики на основе виброаппаратуры СИЭЛ–2200



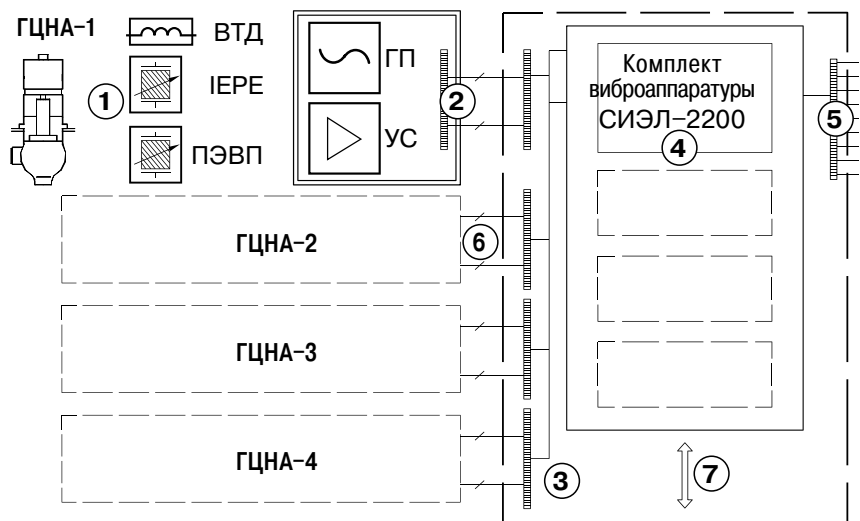
В статье рассмотрены разработки ООО «СИЭЛ» для контроля вибрационного состояния вращающихся машин и механизмов. Представлены преобразователи измерительных каналов относительной вибрации, первичные преобразователи абсолютной вибрации, многоканальная контрольно-измерительная аппаратура.

ООО «СИЭЛ», г. Санкт-Петербург

В современном мире ни одна из сфер человеческой деятельности не обходится без применения различных вращающихся машин и механизмов, при этом многие классы механизмов нуждаются в постоянном контроле вибрационного состояния, что регламентируется отраслевыми стандартами. Объектами вибрационного контроля являются прежде всего корпуса подшипников, а также валы.

ООО «СИЭЛ» начиная с 1998 года успешно работает на объектах энергетической, газоперекачивающей, атомной и нефтеперерабатывающей промышленности в области оснащения системами вибрационного и технологического контроля различных механизмов промышленного назначения, таких как газоперекачивающие агрегаты компрессорных станций и компрессоры станций охлаждения газа, насосное оборудование, паровые турбогенераторы различных типов и мощностей, вспомогательное оборудование турбин и котлоагрегатов, перекачивающее и компрессорное оборудование.

Контролируемые параметры вибрации можно разделить на основные и дополнительные: к основным относятся среднеквадратическое значение



**Обозначения**

- ① Преобразователи вибропараметров с кабелями:  
ВТД – вихретоковые датчики СИЭЛ–166 Д,  
IEPE – акселерометры со встроенным усилителем,  
ПЭВП – пьезоэлектрические вибропреобразователи
- ② Усилители согласующие (УС: СИЭЛ–1651N) и генераторы-преобразователи (ГП: СИЭЛ–1661N) в коробке соединительной
- ③ Устройство информационно-измерительное (УИИ)
- ④ Комплект видеоаппаратуры СИЭЛ–2200: конструктив шинный с установленными модулями
- ⑤ Линии связи для передачи дискретных сигналов предупредительной и аварийной сигнализации
- ⑥ Блочные линии связи от соединительных коробок до УИИ
- ⑦ Линии связи для организации обмена данными

Рис. 1. Функциональная схема СВК ГЦНА

(СКЗ) виброскорости и размах относительного виброперемещения. Дополнительные параметры, такие как гармонический состав и форма сигналов виброскорости и виброперемещения, а также ряд других, служат для целей вибродиагностики.

Характер и масштабы изменения вибрации во времени для каждого случая индивидуальны, конкретный вибрационный процесс содержит большой объем важнейшей информации, использование которой позволяет диагностировать техническое состояние механизмов и машин и рационально устранять многие дефекты.

В качестве примера реализованного ООО «СИЭЛ» проекта оснащения механизма на рис. 1 показана функциональная схема системы контроля вибрации (СКВ) четырех главных циркуляционных насосов (ГЦНА) энергоблока атомной электростанции.

Перечень контролируемых параметров рассматриваемой СКВ: виброскорость в зоне верхней крестовины двигателя, радиальное направление; виброскорость в зоне верхней крестовины двигателя, осевое направление; виброскорость в зоне нижней крестовины двигателя; виброскорость в зоне радиально-осевого подшипника, радиальное направление; виброскорость в зоне радиально-осевого подшипника, осевое направление; виброскорость в зоне нижнего радиального подшипника насоса, осевое направление (высокотемпературные условия); виброперемещение ротора насоса в зоне радиально-осевого подшипника; виброперемещение ротора насоса в зоне радиально-осевого подшипника; виброперемещение ротора насоса в зоне блока уплотнения; виброперемещение ротора насоса в зоне блока уплотнения; частота вращения ротора насоса (фазовая метка).

#### Преобразователи измерительных каналов относительной вибрации

Основными частями измерительных каналов, осуществляющими преобразование физической величины в электрический сигнал, являются датчик СИЭЛ–166Д с кабелем и генератор-преобразователь. Устройства используют вихревоковый принцип преобразования мгновенного значения расстояния между контролируемым объектом и торцом измери-

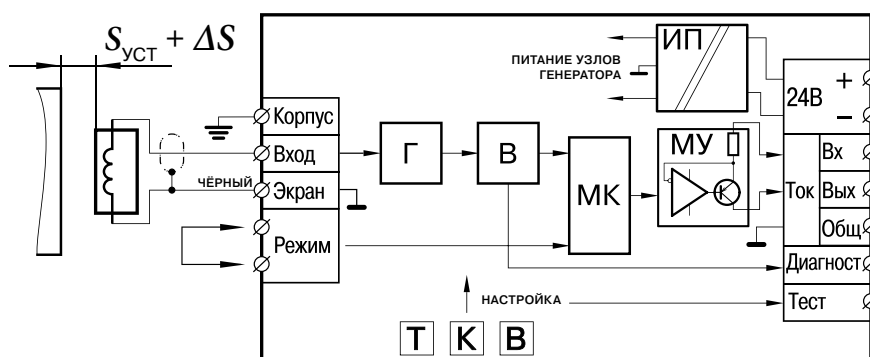


Рис. 2. Функциональная схема измерительного канала относительного виброперемещения с использованием генератора-преобразователя СИЭЛ–1663

тельной головки датчика в ток или напряжение на выходе генератора-преобразователя, пропорциональные зазору (СИЭЛ–1662, СИЭЛ–1661 или СИЭЛ–1661N) или размаху относительного виброперемещения (модель СИЭЛ–1663).

В составе измерительного канала частоты вращения используется генератор-преобразователь СИЭЛ–1664 с импульсными выходами.

Тип **Преобразователи линейных перемещений СИЭЛ–166Х** зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 77744-20 и допущен к применению в РФ.

Отличительные особенности преобразователей линейных перемещений СИЭЛ–166Х:

- ▶ возможность применения в системах вибродиагностики за счет дополнительного широкополосного выхода для некоторых модификаций генератора-преобразователя;
- ▶ гальваническая изоляция питающих и измерительных цепей генератора-преобразователя;
- ▶ сравнительно малое значение тока потребления, позволяющее подключать приборы через барьеры искробезопасности;
- ▶ взаимозаменяемость согласованных по исполнению датчиков и генераторов-преобразователей;
- ▶ большая номенклатура размеров корпуса датчика, а также варианты кабельной сборки и длины кабеля, позволяющие подобрать модификацию, подходящую к месту установки практически для любых механизмов;
- ▶ изготовление измерительной головки датчика из материалов, стойких к воздействию агрессивных сред.

На рис. 2 приводится функциональная схема измерительного канала относительного виброперемещения

с использованием генератора-преобразователя СИЭЛ–1663, предоставляющего возможности вибродиагностики.

Для подключения к модулям 2252К и 2253К из состава виброаппаратуры СИЭЛ–2200 в СКВ применяется генератор-преобразователь СИЭЛ–1661N, являющийся аналогом подобных устройств иностранного производства.

#### Первичные преобразователи абсолютной вибрации

Используемые в составе измерительных каналов абсолютной вибрации акселерометры со встроенным электронным усилителем (ПЕРЕ-преобразователи, другое название – ИСР-датчики) подключаются напрямую к модулю 2251К из состава виброаппаратуры СИЭЛ–2200.

Другая модификация измерительного канала включает в себя комплект: пьезоэлектрический вибропреобразователь (ПЭВП) и усилитель согласующий (УС) СИЭЛ–165Х. Применение такой конфигурации позволяет, кроме прочего, использовать ПЭВП для высокотемпературных условий применения.

Тип **Усилители согласующие СИЭЛ–165Х** зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 77711-20 и допущен к применению в РФ.

Отличительные особенности усилителей согласующих СИЭЛ–165Х:

- ▶ возможность применения в системах вибродиагностики за счет двух дополнительных широкополосных выходов для модификации СИЭЛ–1657;
- ▶ гальваническая изоляция питающих и измерительных и выходных цепей УС;
- ▶ сравнительно малое значение тока потребления, позволяющее подклю-

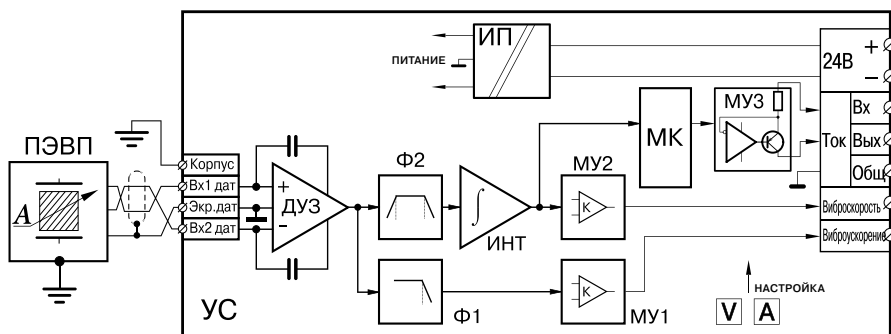


Рис. 3. Функциональная схема УС СИЭЛ–1657

чать приборы через барьеры искробезопасности;

► возможность подключения любого ПЭВП с дифференциальным выходом.

Выходные сигналы УС СИЭЛ–1657 из состава измерительного канала абсолютной вибрации: переменное напряжение, пропорциональное виброускорению, переменное напряжение, пропорциональное виброскорости, постоянный ток, пропорциональный СКЗ виброскорости (рис. 3).

Для подключения к модулю 2251К из состава виброаппаратуры СИЭЛ–2200 в СКВ применяется усилитель согласующий СИЭЛ–1651N, являющийся аналогом подобных устройств иностранного производства.

**Контрольно-измерительная аппаратура: виброаппаратура СИЭЛ–2200**

Виброаппаратура предназначена для непрерывного измерения напряжений постоянного и переменного тока, пропорциональных параметрам абсолютной и относительной вибрации, и для вычисления значений виброускорения, виброскорости, виброперемещения и частоты вращения. Дополнительно обеспечивается измерение температуры с помощью термометров сопротивления, а также силы тока и напряжения в нормированных шкалах.

**Тип Аппаратура измерения и контроля вибрации многоканальная СИЭЛ–2200** зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 89450-23 и допущен к применению в РФ.

Виброаппаратура состоит из измерительных модулей, используемых для обработки определенного типа сигналов. Кроме измерительных модулей, в состав комплекта виброаппаратуры (рис. 4) обязательно входят модуль питания 2241К для обеспечения

устройств и подключаемых преобразователей необходимыми напряжениями питания и модуль доступа 2211К, предназначенный для доступа к измеренным величинам и параметрам модулей, а также для разделения информационной шины модулей и сети при передаче данных в автоматический верхнего уровня. Для формирования четырех программируемых выходных релейных сигналов, например, сигнализации и защиты, в состав комплекта может включаться модуль вывода дискретных сигналов 2223К.

Принцип работы виброаппаратуры основан на осуществлении непрерывного приема и измерения аналоговых сигналов, поступающих от установленных на контролируемом объекте преобразователей, и последующей математической обработке сигналов.

Виброаппаратура осуществляет передачу полученных данных по цифровым последовательным интерфейсам во внешнюю информационную

систему, а также формирование релейных сигналов превышения измеренными величинами заданных пороговых значений.

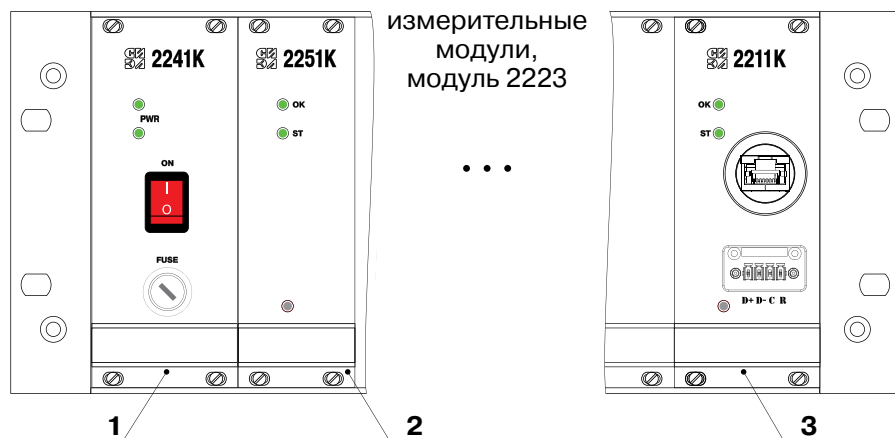
Измерительные модули включают по четыре измерительных канала следующих величин:

► измерительный канал абсолютной вибрации для измерения и контроля виброускорения и соответствующих виброскорости и виброперемещения. Модификация 2251К используется для подключения как усилителей заряда от ПЭВП СИЭЛ–1651N, так и акселерометров со встроенным электронным усилителем (IEPE). Тип подключения программируется;

► измерительный канал зазора, виброперемещения и частоты вращения – модули измерения относительной вибрации 2252К и модули ввода сигналов фазовых отметчиков 2253К с подключенными преобразователями линейных перемещений СИЭЛ–1661N;

► измерительный канал тока и напряжения – модули ввода аналоговых сигналов 2261К для подключения источников тока (от 4 до 20 мА) и 2262К для подключения источников напряжения (от 0 до 10 В);

► измерительный канал температуры – модули ввода сигналов термосопротивлений 2231К для подключения термометров сопротивления по трех- или четырехпроводной схеме с номинальными значениями сопротивления при температуре 0 °С от 1 до 1000 Ом.



**Обозначения**

- 1 – модуль питания 2241К: первая позиция
- 2 – измерительные модули, модуль 2223: количество до восьми, порядок установки определяется проектом оснащения механизма
- 3 – модуль доступа 2211К: последняя позиция

Рис. 4. Общий вид комплекта виброаппаратуры СИЭЛ–2200

**Функциональные возможности системы вибромониторинга и диагностики**

Система вибромониторинга и диагностики на основе виброаппаратуры СИЭЛ–2200 является проектно-комплектным изделием и поставляется по согласованной проектной схеме и спецификации.

По каждому измерительному каналу модули измерения абсолютной и относительной вибрации формируют следующие значения сигналов: среднее квадратическое значение (СКЗ), среднее, максимальное, минимальное, размах и спектр сигнала.

При использовании совместно с модулем 2253К виброаппаратура дополнительно осуществляет расчет по измерительным каналам абсолютной и относительной вибрации СКЗ и фазы первых четырех гармоник, а также субгармоники сигнала. Каждый измерительный канал соответствующего параметра имеет возможность установки коэффициентов преобразования сигнала.

Используется принцип открытого кода: пользователь получает доступ ко всем программным регистрам всех модулей для получения требуемой информации. С комплектом модулей поставляется только сервисное ПО, используемое для проверки и настройки. Для обеспечения обмена виброаппаратуры и автоматики верхнего уровня пользователю требуется использование собственного программного обеспечения.

**Модуль измерения абсолютной вибрации 2251К**

Модуль обрабатывает сигналы абсолютной вибрации контролируемого механизма по четырем измерительным каналам с последующей математической обработкой этих сигналов и формирует набор скалярных и векторных данных. При совместной работе с модулем ввода сигналов фазовых отметчиков 2253К модуль 2251К также выполняет расчет параметров гармоник оборотной частоты агрегата.

Доступ к скалярным данным возможен через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus RTU: напрямую, или через модуль доступа 2211К, или через интерфейс Ethernet (только через модуль доступа) по протоколу Modbus TCP. Доступ к векторным данным возможен только по интерфейсу

Ethernet по протоколу Modbus Object Messaging через модуль доступа.

Дополнительно модуль 2251К реализует функции автономной защиты путем регистрации событий по порогам скалярных параметров с последующей передачей сообщений по шине CAN другим модулям. При совместной работе с модулем дискретных выходов 2223К эти события могут быть использованы для коммутации реле; параметры регистрации событий настраиваемые.

В энергонезависимой памяти хранится конфигурация модуля и журнал событий. Смена конфигурации и сброс на заводские настройки, а также калибровка аналоговых входов модуля выполняются по протоколу Modbus. Функциональная схема модуля 2251К приводится на рис. 5.

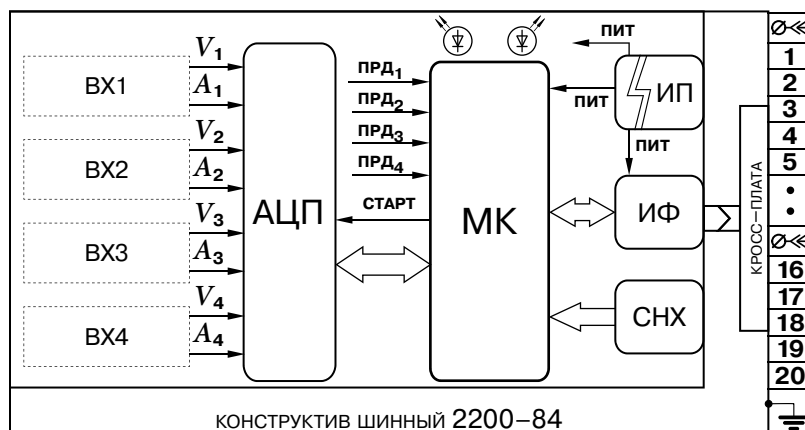
Пользователю доступны следующие скалярные данные:

- ▶ данные канала (всего 8 каналов):

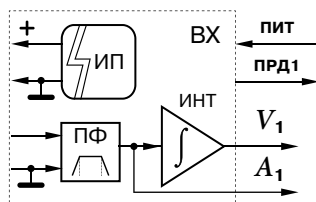
- широкополосный сигнал вибрации – СКЗ, среднее значение, максимальное значение, минимальное значение, размах;
- параметры гармоник 1/2, 1, 2, 3 и 4 (всего 5 гармоник на канал) – СКЗ, фаза;
- ▶ оборотная частота агрегата (1 значение);
- ▶ дата и время.

Пользователю доступны следующие векторные данные:

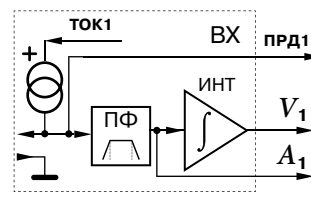
- ▶ осциллограммы текущие (8 экземпляров) – выборка сигнала одного канала за период наблюдения;
- ▶ осциллограммы по событиям (8 экземпляров) – выборка сигнала одного канала за период наблюдения, записанная при наступлении заданных событий канала;
- ▶ амплитудные спектры (8 экземпляров) – выборка сигнала во временной области с заданного канала (8192 отсчета); спектр сигнала (СКЗ, 4096 линий);



Схемы входных цепей (VX1...VX4)



подключение УС



подключение IEPЕ

**Обозначения**

- VX1...4 – входные цепи измерительных каналов
- PRD1...4 – сигналы достоверности входных сигналов
- START – сигнал запуска процесса измерений
- ПФ – полосовой фильтр
- ИНТ – аналоговый интегратор
- АЦП – восьмиканальный АЦП
- МК – управляющий микроконтроллер
- СНХ – приемник и переключатели синхросигналов
- ИП – источники питания цепей
- ИФ – внешние цифровые интерфейсы

Рис. 5. Модуль измерения абсолютной вибрации 2251К: функциональная схема

- ▶ спектры огибающей (8 экземпляров) – выборка сигнала во временной области с заданного канала (8192 отсчета), фильтрованный сигнал во временной области (8192 отсчета), огибающая сигнала (8192 отсчета), спектр исходного сигнала (СКЗ, 4096 линий), спектр фильтрованного сигнала (СКЗ, 4096 линий), спектр огибающей (СКЗ, 4096 линий);
- ▶ октавные спектры (8 экземпляров) – спектр по  $1/12$ -октавным полосам (СКЗ, 110 полос).

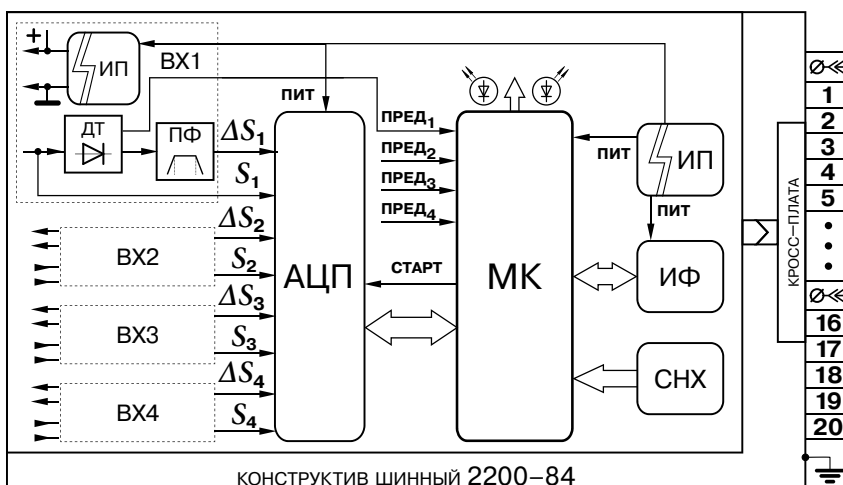
Модуль измерения относительной вибрации 2252К

Принципы обработки сигналов и обмена в составе комплекта виброаппаратуры СИЭЛ–2200 аналогичны модулю 2251К. Функциональная схема модуля 2252К приводится на рис. 6. Пользователю доступны следующие скалярные данные:

- ▶ данные канала (всего 8 каналов):
  - широкополосный сигнал вибрации – СКЗ, среднее значение, максимальное значение, минимальное значение, размах;
  - параметры гармоник  $1/2$ , 1, 2, 3 и 4 (всего 5 гармоник на канал) – СКЗ, фаза;
- ▶ осевой сдвиг датчика 1, 2, 3, 4 (всего 4 параметра);
  - ▶  $S_{\text{MAX}}$  пары 1, 2 датчиков (всего 2 параметра);
  - ▶ оборотная частота агрегата (1 значение);
  - ▶ дата и время.

Пользователю доступны следующие векторные данные:

- ▶ осциллограммы текущие (8 экземпляров) – выборка сигнала одного канала за период наблюдения;
- ▶ осциллограммы по событиям (8 экземпляров) – выборка сигнала одного канала за период наблюдения, записанная при наступлении заданных событий канала;
- ▶ амплитудные спектры (8 экземпляров) – выборка сигнала во вре-



Обозначения

- VX1...4 – входные цепи измерительных каналов
- ДТ – детектор размаха
- ПФ – полосовой фильтр
- АЦП – восьмиканальный АЦП
- МК – управляющий микроконтроллер
- СНХ – приемник и переключатели синхросигналов
- ИП – источники питания цепей модуля
- ИФ – внешние цифровые интерфейсы

Рис. 6. Модуль измерения относительной вибрации 2252К: функциональная схема

менной области с заданного канала (8192 отсчета); спектр сигнала (СКЗ, 4096 линий);

- ▶ спектры огибающей (8 экземпляров) – выборка сигнала во временной области с заданного канала (8192 отсчета), фильтрованный сигнал во временной области (8192 отсчета), огибающая сигнала (8192 отсчета), спектр исходного сигнала (СКЗ, 4096 линий), спектр фильтрованного сигнала (СКЗ, 4096 линий), спектр огибающей (СКЗ, 4096 линий);
- ▶ октавные спектры (8 экземпляров) – спектр по  $1/12$ -октавным полосам (СКЗ, 110 полос).

Более подробную информацию о характеристиках описанных устройств можно найти в следующих документах:


1. Аппаратура измерения и контроля вибрации многоканальная СИЭЛ–2200. Руководство по эксплуатации. ТПКЦ.421451.221 РЭ.

2. Преобразователи линейных перемещений СИЭЛ–166Х (преобразующие устройства измерительных каналов осевого сдвига и относительного виброперемещения). Руководство по эксплуатации. ТПКЦ.427671.106 РЭ.

3. Усилители согласующие СИЭЛ–165Х. Руководство по эксплуатации. ТПКЦ.427710.111 РЭ.

Для реализации конкретного проекта СКВ заказчик имеет возможность на основании требований к контролируемому механизму и согласованного перечня измеряемых величин составить с помощью специалистов предприятия-разработчика заказную спецификацию необходимого измерительного оборудования.


А. О. Зубин, генеральный директор,  
 ООО «СИЭЛ», г. Санкт-Петербург,  
 тел.: +7 (812) 648-0928,  
 e-mail: mail@syel.ru,  
 сайт: www.syel.ru



[vk.com/journal\\_isup](https://vk.com/journal_isup)  
ВКонтакте



<https://t.me/isupmagaz>  
Телеграм



<https://dzen.ru/isup>  
Дзен

Все новости и статьи в свободном доступе