



(19)-0392-1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИСПЫТАНИЙ

Ю. Ю. Арушонок

ФГБОУ ВО «Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета»,

1, ул. Академическая, г. Волгоград, Россия, 400001.

E-mail: aruus@mail.ru

Получена 22 апреля 2019; принята 24 мая 2019.

Анотация. В статье описаны примеры практического применения портативного информационно-измерительного комплекса на базе аналого-цифрового преобразователя ZET 210 под управлением ноутбука при проведении натурных испытаний различных строительных конструкций промышленных зданий и сооружений, таких как стальные и железобетонные балки перекрытий, стропильные фермы, колонны, подкрановые балки, стволы, оттяжки и другие элементы дымовых труб, металлические башни. Испытания проводились в рамках обследования с целью оценки текущего технического состояния указанных строительных конструкций. Измерялись фактические значения таких параметров работы конструкций под нагрузкой, как амплитуда, частота и логарифмический декремент свободных колебаний, амплитуда и частота вынужденных колебаний, параметры технологической вибрации, линейные деформации материала, твердость стали по Бринеллю. Результаты измерений использовались в качестве технических критериев оценок при написании заключений по итогам обследований.

Ключевые слова: информационно-измерительный комплекс, аналого-цифровой преобразователь, ZETLab, испытания строительных конструкций, измерение параметров работы конструкций под нагрузкой.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ В ПРОЦЕСІ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

Ю. Ю. Арушонок

ФДБОУ ВО «Інститут архітектури та будівництва Волгоградського державного технічного університету»,

1, вул. Академічна, м Волгоград, Росія, 400001.

E-mail: aruus@mail.ru

Отримана 22 квітня 2019; прийнята 24 травня 2019.

Анотація. У статті описані приклади практичного застосування портативного інформаційно-вимірального комплексу на базі аналого-цифрового перетворювача ZET 210 під керуванням ноутбука при проведенні натурних випробувань різних будівельних конструкцій промислових будівель і споруд, таких як сталеві і залізобетонні балки перекриттів, кроквяні ферми, колони, підкранові балки, стовбури, відтяжки і інші елементи димових труб, металеві вежі. Випробування проводилися в рамках обстеження з метою оцінки поточного технічного стану зазначених будівельних конструкцій. Вимірювалися фактичні значення таких параметрів роботи конструкцій під навантаженням, як амплітуда, частота і логарифмічний декремент вільних коливань, амплітуда і частота вимушених коливань, параметри

технологічної вібрації, лінійні деформації матеріалу, твердість сталі за Брінеллем. Результати вимірювань використовувалися як технічні критерії оцінок при написанні висновків за підсумками обстежень.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальний комплекс, аналого-цифровий перетворювач, ZETLab, випробування будівельних конструкцій, вимірювання параметрів роботи конструкцій під навантаженням.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF WORK OF BUILDING CONSTRUCTIONS UNDER LOADING IN THE COURSE OF THEIR TESTS

Yurii Arushonok

*Institute of Architecture and Civil Engineering of Volgograd State Technical University,
1, Akademicheskay str., Volgograd, Russian Federation, 400001.*

E-mail: aruus@mail.ru

Received 22 April 2019; accepted 24 May 2019.

Abstract. In article examples of practical application of the portable information and measuring complex on the basis of the analog-digital ZET 210 converter under control of the laptop when carrying out natural tests of various building constructions of industrial buildings and constructions are described, such as, steel and reinforced concrete beams of overlappings, rafter farms, columns, subcrane beams, trunks, delays and other elements of chimneys, metal towers. Tests were carried out within inspection for the purpose of assessment of the current technical condition of the specified building constructions. The actual values of such parameters of work of designs under loading as amplitude, the frequency and logarithmic decrement of free fluctuations, amplitude and frequency of the compelled fluctuations, parameters of technological vibration, linear deformations of material, hardness of steel according to Brinell were measured. Results of measurements were used as technical criteria of estimates when writing the conclusions following the results of inspections.

Keywords: the information and measuring complex, the analog-digital converter, ZETLab, tests of building constructions, measurement of parameters of work of designs under loading.

Введение

Одной из тенденций настоящего времени является все более широкое применение компьютерной техники и технологий в различных областях деятельности, включая научные исследования как теоретического, так и прикладного характера, в том числе при проведении работ по обследованию, испытанию и оценке технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений. Использование компьютерной техники позволяет не только быстро и качественно анализировать получаемые результаты с привлечением мощного математического аппарата, надлежащим образом оформлять итоговые отчеты, заключения, чертежи, но и внести существенные улучшения в процессы измерения разнообразных параметров работы строительных конструкций под нагрузкой. В частности автоматизировать

процесс измерений, расширить его информативность по сравнению с традиционными методами измерений, одновременно наблюдать за изменениями многочисленных параметров работы конструкций на мониторе компьютера в режиме реального времени. Процесс измерения некоторых параметров в особых условиях (например при динамических нагрузках) без применения компьютерных технологий весьма затруднен либо вовсе невозможен.

В данной работе рассматривается вопрос практического применения современных цифровых технологий при испытании строительных конструкций зданий и сооружений на примере аналого-цифрового преобразователя (АЦП) типа ZET 210, изготавливаемого предприятием «Электронные технологии и метрологические системы» (компания ZETLAB, г. Зеленоград).

Основная часть

ZET 210 представляет собой 16-разрядный преобразователь аналоговых сигналов [1], поступающих от различных датчиков, в цифровой код, передаваемый затем на компьютер. С помощью этого устройства появляется возможность подключать к компьютеру любой датчик, вырабатывающий аналоговый электрический сигнал (термопары, тензорезисторы, вибродатчики, акселерометры, датчики перемещений, сейсмоприёмники и другие). Модуль имеет 8 дифференциальных или 16 синфазных входных каналов и 2 выходных канала 14-разрядного цифроаналогового преобразователя (ЦАП) цифровых сигналов в аналоговые для генерации их с помощью компьютера и подачи на управляемые устройства или механизмы.

Модуль функционирует в режиме непрерывного ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов в память персонального компьютера с возможностью их цифровой обработки. Оцифровывание выбранных каналов происходит последовательной коммутацией ключей с использованием одного АЦП. Рабочая частота преобразования (дискретизации) зависит от количества одновременно включенных каналов и для аналогового входа и выхода доходит до 400 кГц, что обеспечивает адекватное описание процессов изменения параметров при реализации большинства эксплуатационных нагрузок и воздействий на строительные конструкции.

Базовое программное обеспечение (ПО) ZETLab, поставляемое с модулем ZET 210 [2], позволяет приступить к процессу измерения и управления сразу после подключения к персональному компьютеру, обеспечивает длительный мониторинг по нескольким выбранным измерительным каналам, контроль измеряемых величин, вывод текущих измеряемых параметров на монитор и запись их на жесткий диск ПЭВМ.

Для расширения функциональных возможностей, универсализации и увеличения номенклатуры подключаемых датчиков совместно с АЦП ZET 210 можно использовать предварительные усилители ZET 410 [3] и ZET 412 [4] (прежнее название TDA) того же производителя. Данные предусилители имеют фиксированный коэффициент усиления

1, 10, 100 или 1 000, задаваемый с помощью микропереключателей на передней панели. От них, при необходимости, можно запитывать подключаемые датчики.

Наличие двухканального ЦАП и управляющего программного обеспечения позволяет использовать ZET 210 в качестве генератора аналоговых сигналов различной формы амплитудой до $\pm 2,5$ В при управлении исполнительными устройствами и механизмами.

В данной статье обобщён опыт многолетнего практического применения вышеописанного оборудования.

Так на базе комплекта из модуля ZET 210, двух предусилителей TDA и ноутбука был построен портативный информационно-измерительный комплекс (рис. 1) для разнообразных измерений при натурных испытаниях строительных конструкций в полевых условиях. При этом питание модулей осуществлялось от встроенного аккумулятора ноутбука, а количество (максимально до 4) и тип подключаемых датчиков определялись конкретными экспериментальными задачами. Ниже описываются реализованные на практике различные конфигурации этого информационно-измерительного комплекса и прикладные задачи, для решения которых они использовались.

Конфигурация 1 (электротензометрический комплекс)

Измерение фактических деформаций материала в наиболее нагруженных сечениях несущих конструкций является необходимой процедурой при решении таких задач, как проверка новых методик расчета, оригинальных конструктивных решений, уточнение расчетной схемы, особенностей поведения конструкций при различных режимах нагружения и других. При такого рода измерениях к аналоговым входам АЦП через предусилители с максимальным коэффициентом усиления по мостовой схеме подключаются проволочные тензорезисторы с базой от 10 мм (для стали) до 200 мм (для бетона). Активные тензорезисторы наклеиваются в нужных местах конструкций, компенсационные тензорезисторы наклеиваются на ненагруженных участках конструкций и предназначены для устранения влияния



Рисунок 1. Портативный информационно-измерительный комплекс на базе модуля ZET 210.

изменений температуры окружающей среды на фиксируемые показания. В такой конфигурации комплекс позволяет измерять линейные деформации материалов строительных конструкций, нагружаемых как статической, так и динамической нагрузкой. Для наблюдений за измеряемой деформацией в режиме реального времени используются программы «Тензо-метр» и «Многоканальный осциллограф» из состава базового программного обеспечения ZETLab [2]. Запись процесса деформирования по всем включенным измерительным каналам также в режиме реального времени производится на жесткий диск ноутбука с помощью программ «Запись сигналов» или «Многоканальный самописец», а последующее их воспроизведение – с помощью программы «Воспроизведение сигналов» из дополнительного ПО модуля ZET 210 «Средства записи и воспроизведения» [5].

В данной конфигурации комплекс применялся для измерения линейных деформаций во время испытаний стальных подкрановых балок динамическими нагрузками от мостовых кранов, а также для построения диаграммы деформирования по результатам разрушающих испытаний стандартных стальных образцов из материала подкрановых балок и стропильных ферм на объекте 1 в таблице ниже (рис. 1). Более подробная информация по данным испытаниям представлена в статьях [6, 7].

Конфигурация 2 (вибродиагностический комплекс)

В этом случае к аналоговому входу АЦП через предусилитель подключается вибродатчик индуктивного типа, например, сейсмоприемник СМ-3. Вырабатываемый таким датчиком сигнал пропорционален скорости колебательного движения испытуемой конструкции.

Таблица. Перечень объектов применения информационно-измерительного комплекса

№ п/п	Объект, место и год испытания, конфигурация комплекса	Решаемые задачи
1	Котельно-сварочный цех промпредприятия, г. Волгоград, 2008 г., конфигурация 1.	измерение деформаций материала стальных подкрановых балок и стандартных стальных образцов при разрушающих испытаниях
2	Участок железобетонного перекрытия многоэтажного производственного корпуса химпредприятия, г. Волжский, 2010 г., конфигурация 2.	оценка параметров вибрации конструкций перекрытия от работающего технологического оборудования, оценка эффективности работы конструкций усиления
3	Несущие конструкции здания холодильно-компрессорной станции химпредприятия, г. Волжский, 2011 г., конфигурация 3.	оценка параметров вибрации как возможной причины повреждения железобетонных и каменных конструкций (колонн, стропильных ферм, стен)
4	Балка Т-образного сечения железобетонной этажерки водородной установки химпредприятия, г. Волжский, 2011 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний балки
5	Металлические стропильные фермы пролетом 30 м склада готовой продукции химпредприятия, г. Волжский, 2011 г., конфигурация 3 и 4.	измерение параметров свободных колебаний ферм, оценка прочности стали элементов ферм неразрушающим методом
6	Металлическая дымовая труба высотой 50 м котельной высокотемпературного органического теплоносителя и установки сжигания отходов химпредприятия, г. Волжский, 2011 и 2016 гг., конфигурация 3 и 4.	измерение параметров свободных колебаний стального ствола трубы, оценка прочности стали её анкерных болтов неразрушающим методом
7	Стальной ствол и вантовые оттяжки факельной установки производства водорода на химпредприятии, г. Волжский, 2012 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний стального ствола и оттяжек факела, оценка прочности стали оттяжек неразрушающим методом
8	Стальные дымовые трубы высотой 20 м водогрейной котельной автономной схемы теплоснабжения химпредприятия, г. Волжский, 2014 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний дымовых труб
9	Металлическая башня высотой 21 м факельной установки на крыше главного корпуса производства сероуглерода химпредприятия, г. Волжский, 2015 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний стальной башни, оценка влияния на её техническое состояние выполненных ремонтных работ
10	Стальная дымовая труба высотой 45 м установки сжигания абгазов и жидких отходов производства анилина химпредприятия, г. Волжский, 2015 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний дымовой трубы
11	Металлические дымовые трубы высотой 45 м паровой котельной химпредприятия, г. Волжский, 2016 г., конфигурация 3.	измерение параметров свободных колебаний дымовых труб
12	Конструкции перекрытия главного корпуса первого пускового комплекса паровой котельной химпредприятия, г. Волжский, 2016 г., конфигурация 2.	определение параметров вибрации строительных конструкций от работающего технологического оборудования

При необходимости оценки величины виброперемещений исследуемой конструкции (мм) выдаваемый индуктивным датчиком аналоговый сигнал, пропорциональный скорости колебаний (мм/с), после оцифровки в режиме реального

времени подвергается процедуре интегрирования с помощью программы «Фильтрация сигналов» из комплекта дополнительного ПО, поставляемого с модулями ZETLab. Результаты интегрирования одновременно с исходными сигналами

отображались в процессе испытаний на мониторе компьютера.

Основные технические характеристики комплекса с датчиком СМ-3: рабочий диапазон частот от 1 до 50 Гц; рабочий диапазон амплитуд колебаний от 0,001 до 2 мм; максимальное допустимое ускорение 10 м/с^2 ; коэффициент преобразования катушек сейсмоприёмника 15 В/м . В другом варианте комплектации использовался индуктивный вибродатчик иного типа (рис. 2). В описанных комплектациях комплекс использовался для определения параметров вынужденных колебаний строительных конструкций при их испытаниях на эксплуатационные и специально создаваемые динамические нагрузки.

В частности он был использован для оценки параметров вибрации конструкций перекрытий от работающего технологического оборудования на предмет соответствия требованиям санитарных норм [8] на объектах 2 и 12 из таблицы.

В санитарных нормах [8] для оценки воздействия вибрации на человека предусмотрено применение методов частотного (спектрального) анализа и интегральной оценки по частоте нормируемых параметров. При спектральном анализе в качестве нормируемых параметров рассматриваются среднеквадратические значения виброскорости V или её логарифмического уровня L_v , вычисляемого по формуле:

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{V}{V_0}, \quad (1)$$

где $V_0 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ мм/с}$ – опорное значение виброскорости.

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром является скорректированное значение виброскорости или её логарифмического уровня, вычисляемого по формуле:

$$L_v = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{vi} + L_{ki})}, \quad (2)$$



Рисунок 2. Крепление вибродатчика индуктивного типа на верхней полке стальной балки усиления плиты перекрытия.

где L_{vi} – логарифмический уровень среднеквадратического значения виброскорости (дБ);
 L_{ki} – весовые коэффициенты для i -ой частотной полосы;

n – число частотных полос (1/3 или 1/1 октав) в нормируемом частотном диапазоне.

Для общей технологической вибрации нормируемый диапазон частот разбивается на долеоктавные полосы со среднегеометрическими частотами от 0,8 до 80 Гц. Оценка вибрационного воздействия производилась путём сравнения полученных значений виброскорости с предельно допустимыми значениями для соответствующих частотных полос либо сравнением скорректированного значения виброскорости с её предельной величиной.

Частотный анализ полученных записей виброскорости колебаний производился программой «Долеоктавный спектр» из состава программного обеспечения ZETLab [2].

Программа исследований на объекте 2 предусматривала также ударные испытания стальных балок усиления плит перекрытия для выяснения степени включения их в совместную работу с усиливаемыми конструкциями.

Ударные испытания стальных балок усиления показали, что у двух балок из четырёх исследованных в местах передачи нагрузок от плит перекрытия в двух точках из трёх отсутствует контакт с усиливаемой конструкцией (рис. 2).

В результате проведённых на этом объекте замеров параметров колебаний конструкций дана оценка максимальных вертикальных виброперемещений железобетонного ригеля перекрытия при экстремальных режимах нагружения и фактической эффективности применённых демпфирующих устройств технологического оборудования.

Конфигурация 3 (вибродиагностический комплекс)

В этой конфигурации к аналоговому входу модуля ZET 210 через предусилитель подключается вибродатчик емкостного типа, вырабатывающий сигнал, пропорциональный ускорению колебательного движения, в качестве которого использовался двухосевой акселерометр на базе чипа ADXL203 фирмы «Analog Devices» с чувствительностью 96,7 мВ с²/м и рабочим диапазоном 16,7 м/с².

В данной конфигурации вибродиагностический комплекс использовался для оценки параметров технологической вибрации несущих железобетонных и каменных конструкций (колонн, стропильных ферм, стен) в рамках экспертизы промышленной безопасности объекта 3 в таблице.

В соответствии с задачами исследования была произведена настройка комплекса с помощью программ «Фильтрация сигналов» и «ZETFormula» из состава ПО АЦП ZET 210, которая заключалась в задании параметров программных фильтров входного сигнала для отсека высокочастотных составляющих и уменьшения шумов. Остальное использованное ПО было таким же, как в конфигурации 2.

С целью оценки параметров колебаний источников вибрации вибродатчик закреплялся на деталях фундаментов машин (рис. 3). Затем он устанавливался на близлежащих к источнику вибрации строительных конструкциях (стропильной железобетонной ферме, колоннах и стенах).

После установки вибродатчика и подключения измерительного комплекса осуществлялась запись в режиме реального времени оцифрованных с частотой дискретизации 20 кГц и отфильтрованных сигналов с двухканального акселерометра на жёсткий диск портативного компьютера.

Предусмотренный нормами [9] частотный анализ полученных акселерограмм конструкций производился путём спектрального анализа оцифрованных записей сигналов программой «Узкополосный спектр» из состава базового ПО ZETLab [2]. Для перехода от фиксируемого акселерометром виброускорения к виброскорости колебаний в программе была включена опция интегрирования входного сигнала по времени.

Разложение записанных сигналов по частотам спектра производилось во всём рабочем диапазоне частот от 0,5 до 800 Гц с разрешающей способностью 1 Гц.

Изучение полученных спектров скоростей колебаний выявило наличие практически у всех исследованных конструкций локальных пиков на графиках на частоте 50 Гц питающего напряжения 380 В электродвигателей приводов технологического оборудования, создающего вибрационные нагрузки.



Рисунок 3. Измерения параметров колебаний фундамента компрессора.

Одним из активно развивающихся направлений мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений является контроль основных параметров их свободных колебаний. Это направление нашло свое отражение в нормативных документах последних лет.

Так в правилах [10] для зданий в сейсмических районах рекомендуется проводить микродинамические испытания несущих конструкций по определению периода собственных колебаний основных форм под воздействием сеймовибратора или ударной нагрузки пластичным грузом массой 30...50 кг.

Стандарт [11] рассматривает такие динамические параметры, как период и логарифмический декремент собственных колебаний основного тона в качестве ключевых характеристик технического состояния несущих конструкций и предусматривает их периодическое измерение в процессе мониторинга с фиксацией результатов в паспорте здания (сооружения).

В этой связи вибродиагностический комплекс этой же комплектации неоднократно использовался для определения таких параметров свободных колебаний разнообразных строительных конструкций, как собственная частота и логарифмический декремент колебаний. В частности, такая задача решалась при испытаниях железобетонной балки перекрытия Т-образного сечения в рамках экспертизы промышленной безопасности этажерки 4, а также склада готовой продукции 5, стальной башни 9 и металлических дымовых труб 6–8, 10 и 11 в таблице. Применение комплекса на объектах 4–6 более подробно описано в статье [12].

Конфигурация 4 (портативный твердомер статического действия)

К аналоговому входу модуля ZET 210 через предварительный усилитель ZET 412 подключается тензометрический S-образный датчик силы типа НЗ-СЗ-300kg-ЗВ фирмы «Zemіс», который

позволяет с высокой точностью измерять силу, прикладываемую к испытываемому стальному образцу или элементу металлоконструкции в процессе определения твердости стали методом Бринелля [13].

Твёрдомер оригинальной конструкции, помимо датчика силы, состоит из струбцины с нагружающим винтом (рис. 4), который заканчивается индентором со стальным закаленным шариком диаметром $D = 5$ мм.

При вращении нагружающего винта струбцины шарик вдавливается в предварительно отшлифованную поверхность испытуемого элемента с образованием лунки. Величина прикладываемого усилия контролировалась по монитору ноутбука в режиме реального времени и составляла $P = 250$ кгс.

После завершения испытаний с помощью отсчетного микроскопа «Мир-2» измерялся остаточный диаметр отпечатков.

Переход от измеренного диаметра отпечатка d к твердости стали по Бринеллю HB осуществлялся по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ (кгс/мм}^2\text{)}. \quad (3)$$

Переход от значения твердости стали по Бринеллю HB к её временному сопротивлению σ_B осуществлялся по переводной таблице из действующего стандарта [14]. Приближённая оценка условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ вычислялась исходя из характерных для низкоуглеродистых строительных сталей соотношений: $\sigma_{0,2} \approx 0,6 \cdot \sigma_B$ для Ст3 и $\sigma_{0,2} \approx 0,67 \cdot \sigma_B$ для легированных сталей. Полученные таким образом значения параметров соответствовали прочностным показателям сталей проектных марок.

Портативный твердомер применялся также для оценки прочности стали стропильных ферм на объекте 5, анкерных болтов крепления ствола дымовой трубы к фундаменту на объекте 6 и вантовых оттяжек ствола факельной установки 7 в таблице. Более подробные описания определения прочности стали ферм и анкерных болтов на объектах 5 и 6 приведены в статье [15].



Рисунок 4. Определение твердости стали по Бринеллю с помощью портативного твердомера оригинальной конструкции.

Заключение

1. Многолетний опыт практического применения информационно–измерительного комплекса на базе модулей аналого–цифрового преобразователя ZET 210 и предварительных усилителей ZET 412, выпускаемых предприятием «Электронные технологии и метрологические системы» (компания ZETLAB, г. Зеленоград), подтверждает техническую возможность успешного применения данного современного цифрового оборудования для решения прикладных измерительных задач. В частности для измерения следующих параметров работы конструкций под нагрузкой: линейных деформаций материалов, параметров технологической вибрации (виброперемещения, виброскорости, виброускорения, частотного спектра и прочих), параметров свободных колебаний (амплитуды, частоты, логарифмического декремента колебаний), для неразрушающего определения твердости стали конструкций по методу Бринелля с переходом к её прочности. Проведенные с помощью описываемого оборудования измере-

ния позволили не только получить количественные значения контролируемых параметров, но и дать на их базе оценку применённым конструктивным решениям.

2. Поставляемое с оборудованием базовое и дополнительное программное обеспечение значительно расширяет область его применения, делает процесс измерений информативным, наглядным, легко управляемым и поддающимся автоматизации. Существует возможность написания индивидуальных программ по управлению оборудованием и обработке поступающих сигналов, а также построения многоканальных SCADA–систем сбора и обработки информации от датчиков в реальном времени. Измерительные возможности оборудования и программного обеспечения ZETLAB позволяют также успешно применять его в ВУЗе. Имеется успешный опыт их трехлетнего использования в процессе обучения студентов по специальностям «Промышленное и гражданское строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений», планируется использование в научных исследованиях.

Литература

1. ZETLab. Модуль АЦП/ЦАП Zet 210. Паспорт. Руководство по эксплуатации // ООО «ЭТМС» («Электронный технологии и метрологические системы»). – Зеленоград, Москва. – 16 с. – Режим доступа : <https://zetlab.-com/wp-content/uploads/2018/05/RE%60-ZET210.pdf>.
2. ZETLab. ZETLAB BASE. Базовое программное обеспечение. Состав и описание // ООО «ЭТМС» («Электронный технологии и метрологические системы»). – Зеленоград, Москва. – Режим доступа : <https://zetlab.-com/shop/programmnoe-obespechenie/programmnoe-obespechenie-zetlab/zetlab-base/>.
3. ZETLab. Усилитель сигналов Zet 410. Описание и технические характеристики // ООО «ЭТМС» («Электронный технологии и метрологические системы»). – Зеленоград, Москва. Режим доступа : <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/usiliteli-signalov-i-soglasuyushhie-ustroystva/zet-410/>.
4. ZETLab. Усилитель сигналов Zet 412. Описание и технические характеристики // ООО «ЭТМС»

Reference

1. ZETLab. Module ADC / DAC Zet 210. Passport. Manual // LLC «ETMS» («Electronic technology and metrological systems»). – Zelenograd, Moscow. – 16 p. Access mode: <https://zetlab.com/wp-content/uploads/2018/05/RE%60-ZET210.pdf>. (in Russian)
2. ZETLab. ZETLAB BASE. Basic software. Composition and description // LLC «ETMS» («Electronic technology and metrological systems»). – Zelenograd, – Moscow. Access mode: <https://zetlab.com/shop/programmnoe-obespechenie/programmnoe-obespechenie-zetlab/zetlab-base/>. (in Russian)
3. ZETLab. Amplifier of signals Zet 410. Description and technical characteristics // LLC «ETMS» («Electronic technology and metrological systems»). – Zelenograd, Moscow. Access mode: <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/usiliteli-signalov-i-soglasuyushhie-ustroystva/zet-410/>. (in Russian)
4. ZETLab. Amplifier signals Zet 412. Description and specifications // LLC «ETMS» («Electronic

- («Электронный технологии и метрологические системы»). – Зеленоград, Москва. Режим доступа : <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/usiliteli-signalov-i-soglasuyushhie-ustroystva/zet-412/>.
5. ZETLab. Средства записи и воспроизведения. Дополнительное программное обеспечение. Состав и описание // ООО «ЭТМС» («Электронный технологии и метрологические системы»). – Зеленоград, Москва. – Режим доступа : <https://zetlab.com/shop/aksessuaryi-i-optsii/sredstva-registratsii-i-vosproizvedeniya/>.
 6. Арушонок, Ю. Ю. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния стальных подкрановых балок / Ю. Ю. Арушонок, Н. Ю. Арушонок // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : матер. V Международной научно-техн. конф. (23–24 апреля 2009 г., г. Волгоград). – Волгоград : Волгоградский гос. арх.-строительный университет, 2009. – С. 166–172.
 7. Арушонок, Ю. Ю. Оценка качества стали строительных металлоконструкций при экспертизе промышленной безопасности зданий старой постройки / Ю. Ю. Арушонок, Н. Ю. Арушонок // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной научно-техн. конф. (23–24 апреля 2009 г., г. Волгоград). – Волгоград : Волгоградский гос. архитектурно-строительный университет, 2009. – С. 160–166.
 8. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – Введ. 1996-10–31. – М. : Минздрав России, 1997. – 10 с.
 9. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка её воздействия на конструкцию. – Введ. 2007-12-27. – М. : Стандартинформ, 2008. – 20 с.
 10. СП 13-102-2003*. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 2003-08-21. – М. : ФГУП ЦПП, 2003. – 31 с.
 11. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 60 с.
 12. Арушонок, Ю. Ю. К вопросу о мониторинге технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Ю. Ю. Арушонок, Н. Ю. Арушонок // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы VI Международной научно-технической конференции (13–14 октября 2011 г., г. Волгоград). – Волгоград : ВГАСУ, 2011. – С. 27–33.
 5. ZETLab. Means of recording and playback. Additional software. Composition and description // LLC «ETMS» («Electronic technology and metrological systems»). – Zelenograd, Moscow. Access mode : <https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/usiliteli-signalov-i-soglasuyushhie-ustroystva/zet-412/>. (in Russian)
 5. ZETLab. Means of recording and playback. Additional software. Composition and description // LLC «ETMS» («Electronic technology and metrological systems»). – Zelenograd, Moscow. Access mode : <https://zetlab.com/shop/aksessuaryi-i-optsii/sredstva-registratsii-i-vosproizvedeniya/>. (in Russian)
 6. Arushonok, Yu. Yu.; Arushonok N. Yu. Experimental studies of the stress-strain state of steel crane girders. In: *Reliability and durability of building materials, structures and foundations of foundations* : materials of the V International Scientific technical conference (23–24 April 2009, Volgograd). – Volgograd : SUACE, 2009. – P. 166–172. (in Russian)
 7. Arushonok, Yu. Yu.; Arushonok N. Yu. Assessment of steel quality of building metal structures during the examination of industrial safety of buildings of old construction. In: *Reliability and durability of building materials, structures and foundations of foundations* : materials of the V International Scientific technical conference (23–24 April 2009, Volgograd). – Volgograd : SUACE, 2009. – P. 160–166. (in Russian)
 8. SN 2.2.4/2.1.8.566-96. Industrial vibration, vibration in residential and public buildings. – M. : Ministry of Health of Russia, 1997. – 10 p. (in Russian)
 9. GOST R 52892-2007. Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its impact on the structure. – M. : Standardinform, 2008. – 20 p. (in Russian)
 10. SP 13-102-2003*. Rules of inspection of bearing building structures of buildings and structures. – M. : FSUE ZPP, 2003. – 31 p. (in Russian)
 11. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of technical condition. – M. : Standardinform, 2014. – 60 p. (in Russian)
 12. Arushonok, Yu. Yu.; Arushonok N. Yu. To the question of monitoring the technical condition of building structures of buildings and structures. In: *Reliability and durability of building materials, structures and foundations* : VI materials of the International Scientific and tech. conf. (13–14 October 2011, Volgograd). – Volgograd : SUACE, 2011. – P. 27–33. (in Russian)
 13. GOST 9012-59*. Metals. Brinell hardness measurement method. – M. : Standardinform, 2007. – 39 p.
 14. GOST 22761-77. Metals and alloys. Brinell steel hardness measurement method portable static hardness testers. – M. : IPK Standards Publishing House, 2003. – 7 p. (in Russian)

13. ГОСТ 9012-59*. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – Введ. 1960-01-01. – М. : Стандартиформ, 2007. – 39 с.
14. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости стали по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. – Введ. 1979-01-01. – М. : ИПК издательство Стандартов, 2003. – 7 с.
15. Арушонок, Ю. Ю. Оценка прочности стали металлоконструкций при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений / Ю. Ю. Арушонок, Н. Ю. Арушонок // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы VI Международной научно-технической конференции (13–14 октября 2011 г., г. Волгоград). – Волгоград : ВГАСУ, 2011. – С. 22–26.
15. Arushonok, Yu. Yu.; Arushonok N. Yu. Evaluation of the strength of steel of steel structures during the inspection of buildings and structures in use. In: *Reliability and durability of building materials, structures and foundations of foundations: materials of the VI International Scientific and tech. conf. (13–14 October 2011, Volgograd)*. – Volgograd : SUACE, 2011. – P. 22–26. (in Russian)

Арушонок Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений ФГБОУ ВО «Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета». Научные интересы: обследование, испытание, оценка технического состояния строительных конструкций, экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений на опасных производственных объектах.

Арушонок Юрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, основ і надійності споруд ФДБОУ ВО «Інститут архітектури та будівництва Волгоградського державного технічного університету». Наукові інтереси: обстеження, випробування, оцінка технічного стану будівельних конструкцій, експертиза промислової безпеки будівель і споруд на небезпечних виробничих об'єктах.

Arushonok Yurii – Ph.D. (Engineering Sciences), associate professor; Building constructions, bases and reliability of constructions Department, Institute of architecture and civil engineering of the Volgograd state technical university. Scientific interests: inspection, test, assessment of technical condition of building constructions, examination of industrial safety of buildings and constructions on hazardous production facilities.