



УДК 620.178.3

В.А. Коструб, А.А. Мирошников

ГОУ ВО «Луганский государственный университет

имени Владимира Даля»

г. Луганск

E-mail: topalexengineering@gmail.com

Дата поступления 18.12.2020

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НА БАЗЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Аннотация

Грузоподъемные машины и механизмы играют важную роль в транспортных, промышленных, энергетической, торговой и других отраслях экономики любой страны. При этом, одним из важнейших вопросов их эксплуатации является достоверная оценка надежности и остаточного ресурса таких машин. В работе рассмотрен метод оценки остаточной прочности и остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных машин, предложено аппаратное решение для измерительного комплекса по его реализации.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние металлоконструкции, мостовой кран, остаточный ресурс, измерительная лаборатория.

Введение

Количество грузоподъемных машин в мире исчисляется сотнями тысяч единиц. Только мостовые краны в России составляют около 130 тыс. единиц, число башенных кранов превышает 50 тыс. единиц. В то же время, статистические данные показывают, что в промышленности от 60 % до 70 % ПТМ отработали свой нормативный срок и подлежат обследованию или нуждаются в замене. Как известно, стоимость ПТМ и даже их диагностика весьма существенны. В этой связи возникает необходимость разработки научно-обоснованных методов оценки остаточной прочности и остаточного ресурса металлоконструкций ПТМ, сочетающих низкую затратную часть с высокой достоверностью результатов оценки. Создание такого метода позволит путем научно обоснованного увеличения эксплуатационного ресурса существенно уменьшить капитальные затраты на производство новых машин и снизить затраты на их обследование.

Металлоконструкции грузоподъемных машин, отработавших свой нормативный срок, требуют особого контроля. Методы исследования машин и их элементов с использованием электротензометрического

оборудования получили широкое распространение в технике [1-2]. С помощью данной методики можно изучать работу огромного спектра машин, механизмов и оборудования в производственных условиях, исследовать протекающие с разными скоростями такие процессы, как мониторинг во времени деформации и напряжения, скорости, ускорения и т.д. Использование тензометрии при испытаниях машин в реальных условиях эксплуатации дает возможность наглядно регистрировать значения деформаций во времени.

Основная часть

Целью данной работы является оценка возможности применения измерительного комплекса на базе АЦП для получения данных о напряженно-деформированном состоянии металлоконструкции грузоподъемных машин.

АЦП Е14-140М – современное универсальное программно-аппаратное устройство, предназначенное для построения многоканальных измерительных систем ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в составе персональных компьютеров [3], а также имеющее возможность применения в качестве автономного устройства сбора данных и

управления в варианте с внешним питанием +5В для осуществления пользовательских алгоритмов реального времени.

Как известно, в последнее время широкое распространение получили компьютерно-ориентированные средства измерений, часто называемые виртуальными приборами. Основные достоинства таких приборов – относительно низкая стоимость, высокая мобильность, органичная интегрированность в компьютерные технологии, возможность легкой адаптации и развития программного обеспечения под измерительные задачи. Непосредственное и разнообразное использование аппаратно-программных ресурсов управляющего компьютера позволяет ограничиться аппаратной реализацией только измерительно-интерфейсной части прибора. Особую популярность в последние годы приобрели виртуальные приборы, выполненные в виде приставки к компьютеру с интерфейсом USB.

Разработанный измерительный комплекс, на базе АЦП E14-140M (далее – комплекс), работает в режиме USB связи с персональным компьютером или ноутбуком. Компьютер в комплексе с программным обеспечением PowerGraph, реализованным в системе Microsoft Windows, выполняет функции устройства управления, накопления, обработки и отображения измерительной информации [4-5]. Комплекс включает

в себя базовый модуль АЦП, содержащий встроенный источник питания, усилитель сигнала с датчика, блок питания усилителя, а также тензодатчики. Продвинутое режимы синхронизации, позволяют создавать многомодульную систему сбора данных по схеме один задатчик – много приемников [6-7]. Независимая настройка каждого канала, позволяющая работать с различными типами датчиков одновременно. Внешний вид комплекса представлен на рис.1.

Характеристики комплекса для измерения напряженно-деформированного состояния с помощью тензодатчиков:

1. E14-140M имеет АЦП 14 бит/ 200 КГц для подключения до 16 дифференциальных каналов или 32 с «общей землей», 16 каналов цифрового ввода и вывода, совместимые с TTL логикой, а также 2 канала ЦАП 12 бит/ ± 5 В.

Выбор диапазонов измерения осуществляется программно. Синхронизация АЦП возможна по внешнему синхросигналу или по уровню входного сигнала, имеется режим межмодульной синхронизации. Применение цифрового сигнального процессора и загрузка прикладных программ позволяют реализовывать различные функциональные алгоритмы и специализированные режимы работы модуля при низкоуровневом программировании [8].

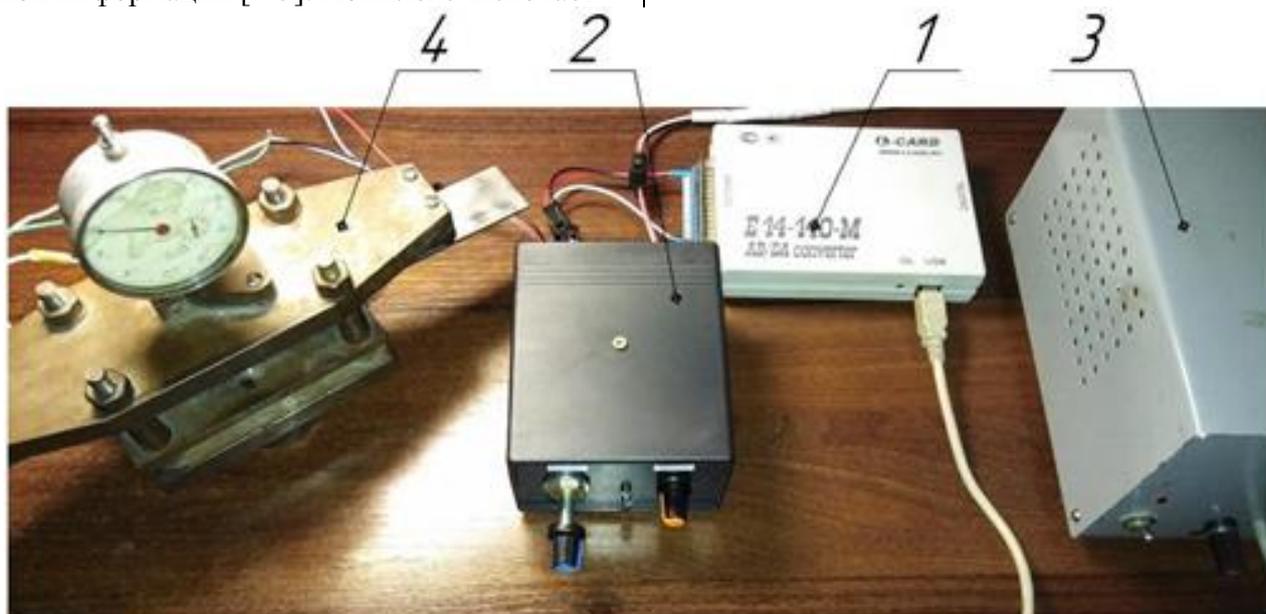


Рисунок 1. Измерительный комплекс напряженно-деформированного состояния в металлоконструкции. 1 – АЦП E14-140M; 2 – усилитель одноканальный; 3 – блок питания; 4 – устройство для тарировки балки.

2. Универсальный одноканальный предварительный усилитель напряжения сигнала полного тензомоста и полумоста, термопары, и т.д., в компактном исполнении. Со стороны разъёма датчика (X1) имеет: питания моста 5/2,5 В, выход «средней точки» для подключения тензометрического полумоста. Выход предусилителя (со стороны разъёма X2) совместим как с дифференциальным входом, так и с входом с общей землёй АЦП общего применения. Ширина полосы частот пропускания предусилителя 50 кГц, что даёт возможность его применения, в частности, в задачах исследования динамических процессов. Имеет регулировку баланса и чувствительности мостовой схемы.

3. Блок питания с преобразованием однополярного напряжения в двухполярное. Схема отличается своей простотой и универсальностью. На вход схемы можно подавать переменное напряжение в широком диапазоне, ограниченном только лишь допустимым напряжением диодов моста, допустимым напряжением конденсаторов питания и напряжением транзисторов [9]. Выходное напряжение каждого из плеч будет равно половине общего напряжения питания, например, при входном переменном напряжении 20В, выходное напряжение одного плеча будет равно $(20 \cdot 1,41) / 2 = 14В$. В качестве транзисторов можно применять любые комплементарные транзисторы. Хорошими вариантами замены могут быть MPSA42/92, KSP42/92, BC546/556, KT3102/3107 и так далее.

4. Проволочный тензорезистор массового применения (рисунок 2) представляет собой плоскую петлеобразную проволочную обмотку 2 прямоугольной формы (решетку), к концам 4 которой припаяны или приварены относительно толстые выводы из медной проволоки 5. Проволочная решетка с помощью специального клея 3 закрепляется на тонкой прямоугольной полоске 1 из бумаги, клеевой или лаковой пленки, служащей для решетки подложкой (основой).

Разработанный комплекс является эффективным измерительным инструментом

для решения разнообразных научно-исследовательских и учебных задач. Он позволяет легко перестраивать измерительный эксперимент, трансформируя конфигурацию комплекса, постепенно наращивать его функциональность и производительность путем поэтапного доукомплектования измерительными модулями, в том числе новыми моделями (предполагается развитие модельного ряда измерительных модулей).

Назначение ПО «PowerGraph»:

- сбор данных с различных измерительных устройств и приборов;
- регистрация, визуализация и обработка сигналов в режиме реального времени;
- редактирование, математическая обработка и анализ данных;
- хранение, импорт и экспорт данных.

Функциональные возможности ПО «PowerGraph» [10]:

1. Поддержка различных устройств сбора данных:

- расширяемая библиотека драйверов, включающая платы и модули АЦП, измерительные приборы, виртуальные генераторы сигналов, компьютерные устройства ввода и звукозаписи;
- возможность подключения новых устройств и источников сигналов;
- поддержка управляющих компонентов устройств (цифровые входы/выходы, ЦАП'ы и др.).

2. Регистрация данных:

- предварительный мониторинг входных сигналов;
- индивидуальная настройка и калибровка каналов;
- использование любых единиц измерения сигналов;
- выбор произвольного набора каналов для регистрации;
- использование произвольной скорости записи (частоты оцифровки);
- аппаратная и программная синхронизация сбора данных (счет-

чики, таймеры, по уровню сигнала с записью пред- и пост-истории);

- сохранение и отображение параметров сбора данных (тип устройства, дата, время, скорость и длительность регистрации);
- запись серии независимых измерений (блоков данных) в один файл;
- установка текстовых меток (комментариев) на ленте записи;
- ввод и хранение текстовой информации (заметки, примечания,

протокол измерений) для каждого блока данных и для всего файла.

Рассмотрим применение предложенного комплекса.

Проведем калибровку тарированной балки для настройки измерительного комплекса. Установив максимальную чувствительность усилителя запишем показания АЦП в таблицу 1, для десяти этапов нагружения и разгрузки балки.

Используя полученные данные, построим график (рис.3.). Добавим зависимость $\sigma = F(f)$ полученная ранее в расчетах [11].

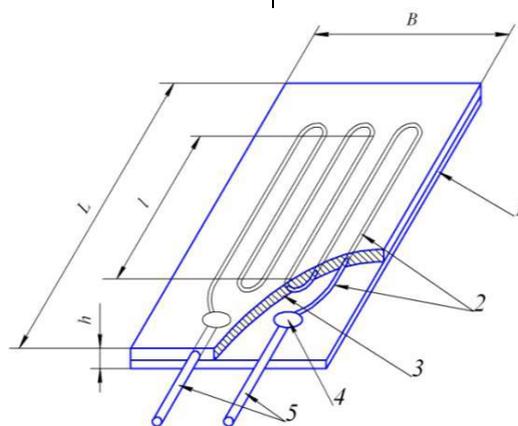


Рисунок 2. Схема используемых тензорезисторов. 1 - тонкая прямоугольная полоска из бумаги; 2 - плоская петлеобразная проволочная обмотка прямоугольной формы (решетка); 3 – специальный клей; 4 - узел перехода; 5 - выводы из медной проволоки

Таблица 1

Значения миллиамперметра при нагрузке тарированной балке

№ экспер.		Показание стрелочного индикатора										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		Показание миллиамперметра										
1	Нагр.	0	17	32	49	67	84	99	116	135	157	177
	Разг.	-9	6	25	44	60	81	98	116	134	151	177
2	Нагр.	0	19	38	53	74	94	110	127	145	164	185
	Разг.	-16	6	24	43	65	84	105	121	140	148	185
3	Нагр.	0	22	36	52	72	89	108	123	144	165	181
	Разг.	0	13	31	48	67	87	104	120	138	156	181
4	Нагр.	0	22	37	54	74	92	111	127	147	165	182
	Разг.	-4	11	30	49	68	87	106	123	140	155	182
5	Нагр.	0	24	40	58	77	96	113	130	151	171	191
	Разг.	4	17	34	53	73	92	111	129	145	165	191
6	Нагр.	0	19	36	53	75	98	113	133	152	170	189
	Разг.	1	17	34	56	74	92	111	129	146	164	189
7	Нагр.	0	17	34	51	70	91	106	124	145	164	183
	Разг.	-1	14	29	48	67	85	105	120	139	159	183
8	Нагр.	0	18	36	54	75	98	111	130	149	171	191
	Разг.	2	18	36	57	72	92	110	128	148	166	191
9	Нагр.	0	20	38	57	77	95	113	128	145	167	184
	Разг.	-5	13	33	51	70	88	106	125	142	161	184
10	Нагр.	0	22	38	56	76	96	110	127	145	166	183
	Разг.	-4	13	34	52	69	89	106	123	141	160	183

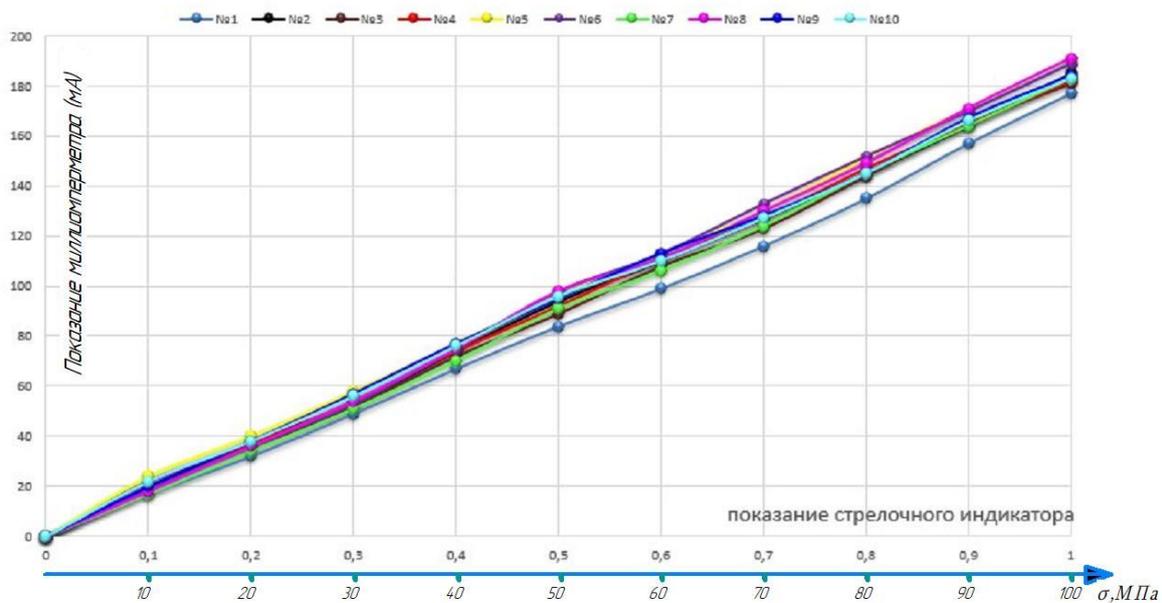


Рисунок 3. График калибровки тарированной балки

Как видно из графика, точность измерения практически одинакова для всех этапов.

Рассмотрим измерение напряженно-деформированного состояния металлоконструкции коробчатой балки с помощью АЦП.

Для измерения напряженно деформированного состояния в центральном сечении нижнего пояса балки по принципу полумостовой схемы наклеены датчики, имеющие сопротивление $R=100$ Ом. Датчики подключаются к усилителю и блоку питания, а усилитель - к АЦП с последующей

связью через USB с ПК. Общая схема измерительной лаборатории и балки представлена на рисунке 4.

Вторым этапом калибруется баланс моста. После выставления в нулевую точку можно начинать нагружение металлоконструкции с помощью динамометра. По паспорту динамометра с помощью стрелочного индикатора задается требуемая сила нагрузки. Изменения сопротивления тензодатчиков записываются АЦП в программу PowerGraph. Результаты эксперимента представлены на рисунке 5.



Рисунок 4. Общий вид измерительной лаборатории и коробчатой балки

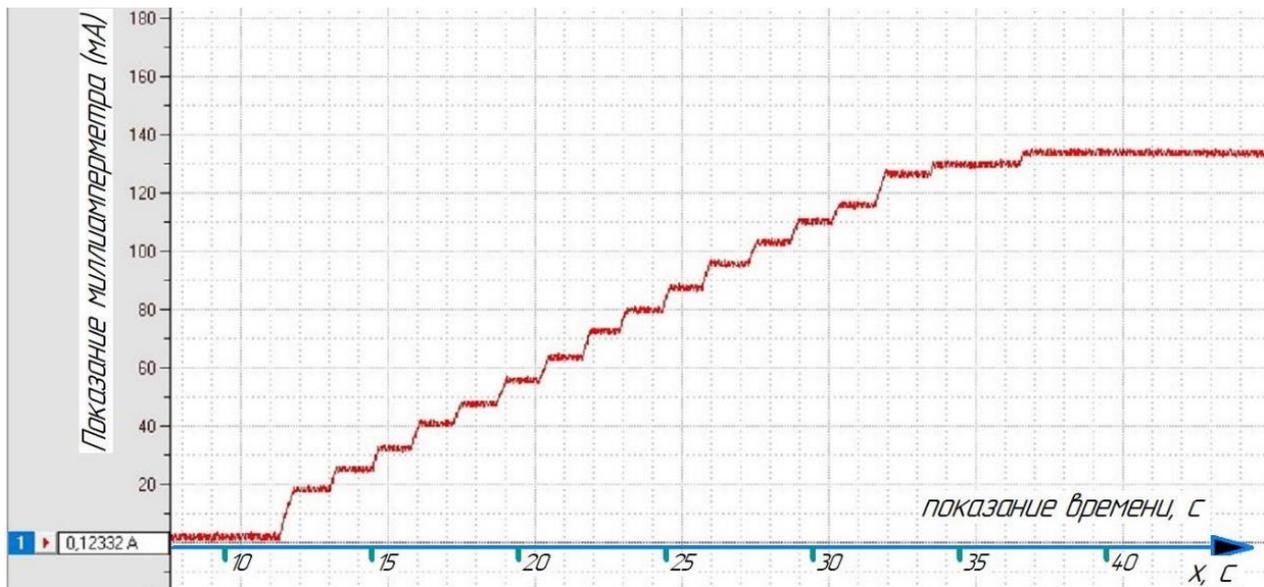


Рисунок 5. Результаты эксперимента

Значение силы тока, полученное в максимальной точке, равно – 136 mA.

Используя ранее записанные данные измерения на тарированной балке [11], переводим полученные результаты в напряжение и получаем – 74 МПа. Проведенный эксперимент показывает, что полученный результат близок к расчетному, выполненному с помощью метода конечных элементов [12]. Это подтверждает достоверность метода, а также правильности построения 3D модели и дальнейшей расчетной модели.

Предложенная методика была также использована при оценке ресурса балок мостового крана-штабелера при нагрузке в 1 тонну. С экономической точки зрения обоснованное продление безопасной эксплуатации грузоподъемной машины является значительным плюсом, для любой отрасли, где используются грузоподъемные машины, отработавшие свой нормативный срок службы. Замена одного или нескольких кранов является дорогостоящей процедурой, что несет экономические убытки, связанные также с простоем технологической линии.

В процессе исследования был выявлен ряд особенностей:

- поскольку полумостовая схема представляет собой одну фазу дифференциальной мостовой схемы, то данный источник сигнала схож по

электрическим свойствам с низкоомным однофазным выходом с общей землей, у которого роль общего провода выполняют все остальные 2 или 4 провода при трёх- или пятипроводной схеме, соответственно. Для улучшения соотношения сигнал/шум в данной сигнальной цепи, пожалуй, единственно возможной мерой является экранирование;

- в общем случае для достижения желательного малого начального разбаланса моста разброс сопротивлений тензорезисторов, как правило, не должен превышать $\pm 0,01\%$, также, имеет значение разброс сопротивлений в парах смежных резисторов в мосте (при любом условном разбиении на смежные пары).

Следует отметить, что измеряемый полномостовым датчиком разбаланс моста, пропорциональный деформации, является безразмерной величиной, равной отношению измеренных напряжений. Положительный знак разбаланса моста соответствует состоянию сжатия-растяжения. Отрицательному знаку разбаланса будет соответствовать противоположные состояния сжатия-растяжения тензорезисторов.

Выводы

С помощью предложенной измерительной лаборатории можно регистрировать нагрузки, возникающие в металлоконструкции, то есть мониторить реальную

картину работы крана как в прошедшем времени, так и в настоящем. Это позволяет накопить данные о напряженно-деформированном состоянии грузоподъемной машины, что позволит приблизиться к характеристике ее ресурса путем сравнения полученных данных с расчётным компьютерно-инженерным анализом (САЕ).

Библиографический список

1. Мамаева Е.И., Машиностроение. Энциклопедия. Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов. Т. II-1 / «Л.В. Агамиров, М.А. Алимов и др.; под общ. ред. Е.И. Мамаевой.» - М.: Машиностроение, 2010. - 852 с.
2. Бабёр А.И., Электрические измерения : учеб. пособие / А.И. Бабёр, Е.Т. Харевская. - Минск : РИПО, 2019. - 106 с.
3. <https://www.lcard.ru/>
4. Гарманов А.В. Подключение измерительных приборов / Гарманов А.В. – Москва: 2003. – 41с.
5. Измайлов Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Измайлов Д.Ю. // промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. - №3. – С 42-47.
6. Измайлов Д.Ю. Виртуальная измерительная лаборатория PowerGraph / Измайлов Д.Ю. // промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2007. - №3. – С 42-47.
7. PowerGraph. Руководство пользователя. URL: <http://www.powergraph.ru>
8. Парахуда, Р. Н. Автоматизация измерений и контроля: курс лекций / Р. Н. Парахуда, В. И. Шевцов – СПб. : СЗТУ, 2002. – 75 с.
9. Путилин, А. Б. Вычислительная техника и программирование в измерительных информационных системах: учебное пособие для вузов / А. Б. Путилин. – М.: Дрофа, 2006. – 447 с.
10. Девин Л.Н. Применение пакета PowerGraph для исследования процесса резанья / Девин Л.Н., Сулима А.Г. // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – 2008. - №3. – С 24-26.
11. Мирошников А.А., Будиков Л.Я., Рекиян П.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния металлоконструкции с помощью тензометрии на базе аналого-цифрового преобразователя // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2018, № 2(11), стр. 32-37.
12. Будиков Л.Я., Мирошников А.А. Оценка остаточного ресурса мостовых кранов применением CALS технологий и методов численного анализа / Материалы Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых «Транспортные системы и современные технологии» // Луганск: ГОУ ВПО ЛНР, 2017. - С. 125-131.

Information about the paper in English

V.A. Kostrub, A.A. Miroshnikov

Dal Lugansk State University

Lugansk

E-mail: topalexengineering@gmail.com

Received 18.12.2020

DEVELOPMENT OF A MOBILE MULTIFUNCTIONAL MEASURING LABORATORY BASED ON AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER

Abstract

Lifting machines and facilities play an important role in transportation, industrial, power, commercial and other sectors of economy in any country. One of the most important issues of their operation is an accurate assessment of reliability and residual lifetime of such machines. The paper describes a method for assessing residual strength and residual lifetime of steel structures of lifting machines and suggests a hardware solution for the measuring complex for its implementation.

Keywords: stress and strain state of steel structures, overhead crane, residual lifetime, measuring laboratory.
