



УДК 620.178.151.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

М.В. Кузьмичев^а, Р.А. Егоров^а^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская ФедерацияАдрес для переписки: kuzmichev.m92@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 20.06.18, принята к печати 25.07.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-5-794-800

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Кузьмичев М.В., Егоров Р.А. Моделирование и алгоритмическое обеспечение процесса динамического индентирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 5. С. 794-800. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-5-794-800

Аннотация

Предмет исследования. Исследованы методы определения физических и механических характеристик материалов, основанные на регистрации параметров ударного взаимодействия твердого тела – индентора с поверхностью испытуемого материала. Среди рассмотренных методов для дальнейших исследований выбран метод динамического индентирования. В связи с развитием вычислительных устройств и электронной элементной базы данный метод приобретает новые возможности и преимущества перед другими способами неразрушающего контроля: возможность портативной реализации прибора, безобразцовый контроль изделий, возможность построения $F-h$ диаграмм и другие. **Метод.** Разработан и применен алгоритм первичной обработки измерительного сигнала, получаемого с первичного преобразователя при динамическом индентировании. Выполнено сравнение результатов работы алгоритма с результатами, полученными прибором динамического индентирования «ИСПГ-1», ранее разработанного в Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси. Выполнено сравнение результатов обработки измерительного сигнала с результатами компьютерного моделирования процесса ударного контактного взаимодействия методом конечных элементов. **Основные результаты.** Предложен алгоритм обработки первичных сигналов динамического индентирования. Предложена модель процесса динамического индентирования. Показано, что разработанный алгоритм и модель работоспособны и показывают схожие результаты в сравнении с результатами, получаемыми при помощи существующего прибора динамического индентирования. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при разработке отечественного аналога прибора динамического индентирования.

Ключевые слова

динамическое индентирование, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, неразрушающий контроль, алгоритм обработки

MODELING AND ALGORITHMIC PROVISION OF DYNAMIC INDENTATION PROCESS

M.V. Kuzmichev^а, R.A. Egorov^а^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian FederationCorresponding author: kuzmichev.m92@gmail.com

Article info

Received 20.06.18, accepted 25.07.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-5-794-800

Article in Russian

For citation: Kuzmichev M.V., Egorov R.A. Modeling and algorithmic provision of dynamic indentation process. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 5, pp. 794–800 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-5-794-800

Abstract

Subject of Research. We study the methods for determination of the physical and mechanical characteristics of materials based on parameters recording of a solid body-indenter impact interaction with the surface of the material under test. Among the methods considered, the method of dynamic indentation was chosen for further research. With the development of computing devices and electronic element base this method acquires new opportunities and advantages over the other methods of nondestructive testing. They are: the possibility of portable implementation of the device, an unrestricted control of products, the possibility of $F-h$ diagrams construction and others. **Method.** We consider the application of the developed algorithm for the primary processing of a measuring signal obtained from a primary converter under dynamic indentation. The results of the algorithm are compared with the results obtained from the ISPG-1 dynamic indentation device, previously

developed at the Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus. The results of the measuring signal processing were also compared with the results of computer simulation of the process of shock contact interaction by the finite element method. **Main Results.** An algorithm for processing of dynamic indentation primary signals is proposed. A model of dynamic indentation process is proposed. It is shown that the developed algorithm and model are efficient and show similar results in comparison with the results obtained with the existing dynamic indentation device. **Practical Relevance.** The obtained results can be used in the development of the domestic analogue of the dynamic indentation device.

Keywords

dynamic indenting, computer simulation, finite element method, non-destructive testing, processing algorithm

Введение

В настоящее время при производстве новой продукции необходимо определять и обеспечивать контроль свойств показателей механических характеристик изделий, таких как прочность, твердость, модуль упругости. Традиционно такие показатели свойств определяются прямыми методами разрушающих испытаний на разрывных машинах, на статических твердомерах по методам Бринелля, Роквелла, Виккерса, заключающихся в непрерывном внедрении наконечника (алмазная пирамида для метода Виккерса [1], твердосплавный шарик для метода Бринелля [2], алмазный конус для метода Роквелла [3]) в испытуемый образец под действием плавно возрастающей нагрузки с последующим ее снятием и регистрацией зависимости перемещения наконечника от нагрузки или других специализированных установках для измерения скорости падения и отскока индентора по методу Либа [4] или измерения высоты отскоку по методу Шора [5].

При этом в обязательном порядке эти испытания требуют изготовления образцов-свидетелей, что часто приводит к недостоверной оценке свойств изделий по причине неизбежного отличия показателей свойств материала образцов-свидетелей и материала испытуемых изделий [6].

В настоящее время одним из перспективных неразрушающих методов оценки механических характеристик материалов изделий является метод динамического индентирования (ДИ), позволяющий проводить безобразцовый неразрушающий контроль не только механических, но и физических значений свойств материала.

Сущность данного метода заключается в ударном внедрении жесткого индентора с заданной кинетической энергией в испытуемый материал с одновременной регистрацией процесса внедрения [7]. Под регистрацией процесса внедрения подразумевается непрерывное определение параметров движения индентора во времени (скорости, глубины внедрения и контактного усилия). Полученные изменения значений параметров движения индентора позволяют осуществить переход к диаграмме контактное усилие – внедрение $F(h)$ и определять физико-механические характеристики исследуемого материала.

Методология измерений

Метод ДИ на сегодняшний день регулируется стандартом¹. Стоит отметить, что действующий стандарт не устанавливает определенных способов получения первичного измерительного сигнала.

В данной работе в основе устройства регистрации параметров движения индентора лежит магнитоиндукционный метод, заключающийся в регистрации электродвижущей силы (ЭДС) (рис. 1), наводимой в катушке датчика в результате помещения в нее магнита, жестко закрепленного с индентором.

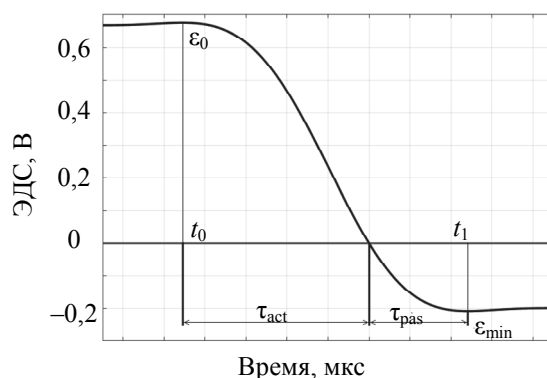


Рис. 1. Типичная диаграмма изменения электродвижущей силы, получаемая в результате ударного взаимодействия

Значения ϵ_0 и ϵ_{min} на (рис. 1) характеризуют скорость индентора в момент начала контактного взаимодействия t_0 и скорость в момент окончания контактного взаимодействия t_1 соответственно. Участки τ_{act} и τ_{pas} носят название активного и пассивного этапов удара. На протяжении активного этапа удара

¹ ГОСТ Р 56474–2015. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Введен 01.01.2016. М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

происходит упругопластическая деформация испытуемого образца, а во время пассивного этапа индентор начинает движение в сторону, обратную своему внедрению, под действием упругих сил, накопленных в образце. Основное достоинство данного типа преобразователей состоит в том, что их выходной сигнал, ЭДС $\varepsilon(t)$, в допустимом приближении можно считать линейно зависимым от скорости внедрения индентора $V(t)$ [7]:

$$\varepsilon(t) = kV(t), \tag{1}$$

где k – коэффициент пропорциональности, который зависит от конструктивных параметров преобразователя.

Целью данной работы является повышение точности получения зависимостей $V(t)$, $h(t)$, $F(t)$ с первичного преобразователя. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. разработка алгоритмического обеспечения обработки первичного сигнала и получение искомым зависимостей;
2. разработка модели ударного контактного взаимодействия индентора с материалом;
3. сравнение результатов работы алгоритма и модели с результатами, полученными с прибора ДИ ИСПГ-1.

Свойства материала

В качестве материала для исследования была выбрана образцовая мера твердости МТБ-1 66НВ. При исследовании материала методом ДИ использован сферический индентор из карбида вольфрама с радиусом 0,75 мм. Параметры свойств материалов, рассматриваемых в данной работе, приведены в табл. 1.

Параметры	Индентор	Контролируемый материал
Материал	Карбид вольфрама	Мера твердости МТБ-1 66 НВ
Поведение материала	Упругое	Упругопластическое
Плотность, кг/м ³	15770	2640
Модуль Юнга, ГПа	710	71
Коэффициент Пуассона	0,31	0,3
Предел текучести, МПа	–	300
Касательный модуль, МПа	–	500

Таблица 1. Параметры свойств материалов

Экспериментальные исследования

В данном исследовании метод ДИ аппаратно реализован на базе прибора ИСПГ-1, разработанного в Институте прикладной физики Национальной академии наук Беларуси. Для получения первичного измерительного сигнала применялся преобразователь, входящий в состав прибора ИСПГ-1 (рис. 2). Преобразователь представляет собой устройство криволинейного гравитационного разгона индентора и измерительную часть, состоящую из магнита, жестко закрепленного на инденторе, и измерительной катушки, в которой наводится ЭДС, пропорциональная скорости движения системы магнит–индентор [8].

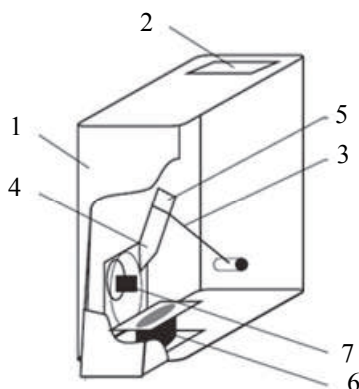


Рис. 2. Датчик с криволинейным гравитационным разгоном: 1 – корпус, 2 – пусковая кнопка, 3 – поворотный рычаг, 4 – индентор, 5 – магнит, 6 – катушка индуктивности, 7 – заводная головка

Аналоговый сигнал с первичного преобразователя подавался на вход осциллографа WaveRunner WR 44Xi-A от компании LeCroy Corporation.

Оцифровка сигналов проводилась с частотой дискретизации в 5 МГц. В общей сложности на мере твердости 66НВ было проведено и оцифровано 10 измерений. Объем каждой выборки составил

10002 дискретных отсчета. Осциллограф работал в режиме увеличенного разрешения в 11 бит. Определение момента начала записи проводилось по нарастающему фронту первичного сигнала [9].

На рис. 3 представлен набор из 10 кривых ЭДС, получаемых с преобразователя прибора для меры твердости 66НВ. Все зависимости различаются между собой случайной составляющей (шумы аналого-цифрового преобразователя и другие), а также незначительным различием физико-механических показателей на поверхности испытуемой меры твердости [10].

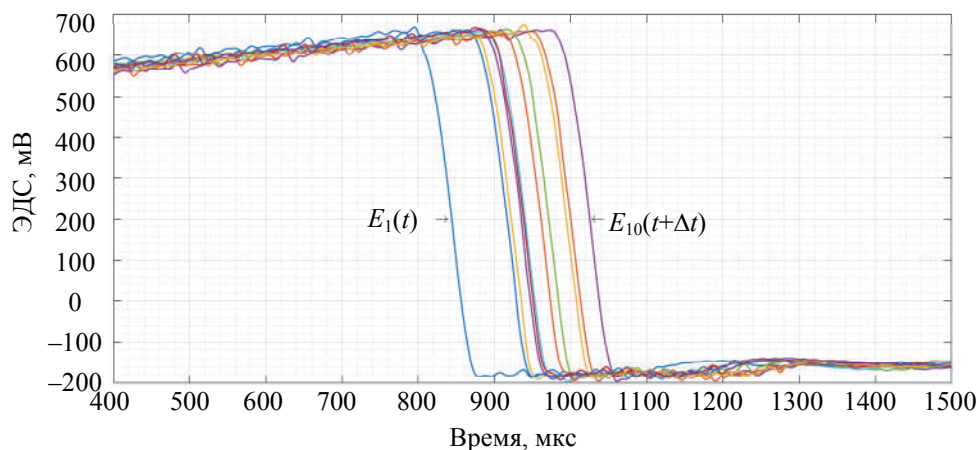


Рис. 3. Кривые изменения электродвижущей силы для меры твердости 66НВ

Рис. 3 иллюстрирует внешний вид входных данных в виде 10 зависимостей ЭДС $E_1(t)–E_{10}(t+\Delta t)$, а также временное расхождение Δt между ними. Несмотря на то, что в ходе получения экспериментальных данных пороговое значение фронта импульса являлось величиной постоянной, начало контактного взаимодействия для каждой кривой происходит в разное время. Описанная неточность в своем большинстве связана с неидеальностью аналого-цифрового преобразования осциллографом, и для ее устранения необходимо выполнить центрирование всех кривых относительно перехода через ноль.

В ходе проведенного эксперимента для меры твердости 66НВ было получено 76 кривых изменения ЭДС.

Алгоритм обработки первичного сигнала

Для выделения массива дискретных значений скорости движения индентора $V(t)$ из ЭДС авторами был предложен алгоритм, состоящий из следующих этапов:

- аналого-цифровое преобразование зависимости $\varepsilon(t)$ на выходе из первичного преобразователя и запись полученного дискретного двумерного массива в память компьютера;
- применение операции цифровой фильтрации к полученному массиву ЭДС;
- аппроксимация дискретной зависимости $\varepsilon(t)$, сохранение коэффициентов аппроксимирующего уравнения и генерация нового двумерного массива по аппроксимирующей функции;
- выделение и последующее удаление из аппроксимированного массива областей, не несущих информации о процессе контактного взаимодействия;
- приведение полученной зависимости к $V(t)$ путем поэлементного деления дискретной зависимости на коэффициент пропорциональности (формула (1)).
- переход от значений $V(t)$ к зависимостям $h(t)$, $F(t)$, $F(h)$.

Последний этап алгоритма заключается в применении математических операций дифференцирования и интегрирования.

Для определения функции внедрения индентора в испытуемый материал необходимо выполнить операцию интегрирования:

$$h(t) = \int_0^t V(t) dt.$$

Для определения зависимости контактного усилия от времени, полученный ранее дискретный массив $V(t)$ необходимо продифференцировать:

$$F(t) = -m \frac{dV(t)}{dt}. \quad (2)$$

Поскольку все операции производятся с дискретными массивами чисел, имеет место численное дифференцирование, в основе которого лежит аппроксимация дифференцируемой функции. Для случая с численным интегрированием в работе применяется метод прямоугольников.

Знак « \rightarrow » в выражении (2) указывает на направление прикладываемого усилия.

Моделирование

Моделирование ударного контактного взаимодействия методом конечных элементов выполнено в осесимметричной постановке для материала с упруго-пластичным поведением и жесткой полусферой, движущейся с постоянной скоростью в момент контакта [11]. Полученные результаты моделирования позволяют построить диаграмму вдавливания – зависимость контактного усилия от глубины внедрения индентора, необходимую для расчета физико-механических характеристик контролируемого материала.

Из-за осесимметричности задачи вдоль оси симметрии (ось Y) смещение в направлении X равно нулю ($U_x = 0$). Основание материала фиксировалось в вертикальном направлении ($U_y = 0$) [12] (рис. 4) Сетка конечных элементов состоит из 6500 изогнутых изопараметрических четырехсторонних элементов и сосредоточена в области контактного взаимодействия [13]. В исследовании, при решении задачи моделирования, используется билинейное кинематическое упрочнение контролируемого материала и упругое поведение для материала индентора [14]. В результате модель ударного контактного взаимодействия жесткой сферы с упруго-пластичным материалом можно использовать для получения физико-механических характеристик материала без проведения натурных испытаний, а также для оценки требований, предъявляемых к контролируемому материалу, таких как минимальная толщина контролируемого объекта, шероховатость и радиус кривизны поверхности [15]. Моделирование с различными параметрами индентора позволит увеличить точность обработки данных методом ДИ.

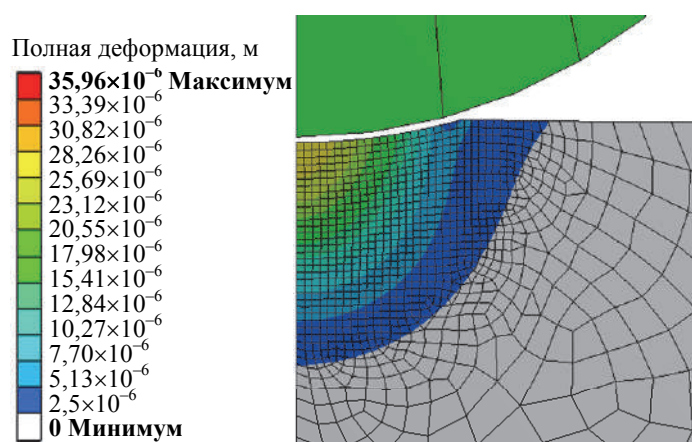


Рис. 4. Результат моделирования ударно-контактного взаимодействия

Результаты

Реализация алгоритма обработки первичного измерительного сигнала производилась в программной среде MATLAB. В качестве входных данных использовались 76 дискретных выборок значений ЭДС с первичного преобразователя ИСПГ-1, ранее полученных при помощи осциллографа.

Алгоритм выполняет преобразование дискретных массивов ЭДС, несущих в себе результаты измерения, в наборы дискретных функций скорости, контактного усилия и внедрения индентора в испытуемый образец во времени. Также алгоритмом предусмотрена возможность построения диаграмм контактное усилие-внедрение для серий измерений. На рис. 5 проиллюстрированы результаты работы алгоритмической обработки 76 кривых входных данных (рис. 3) для меры твердости 66 НВ. Ввиду информационной перегруженности рисунка на нем отображены только первые 15 измерений.

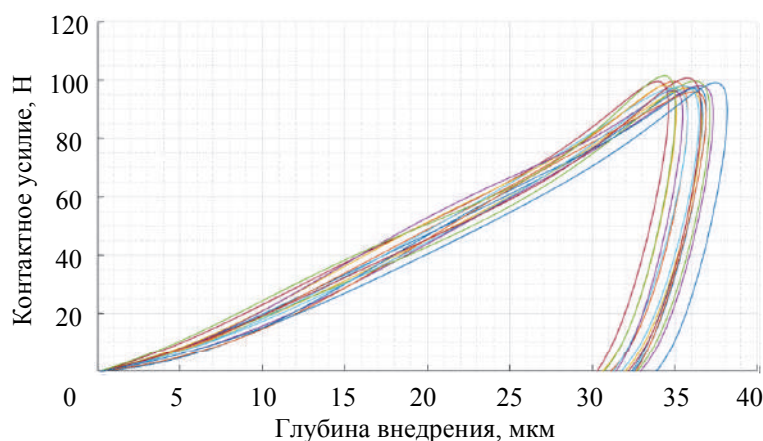


Рис. 5. Диаграмма контактное усилие-внедрение

По аналогии с рис. 3, кривые на рис. 5 иллюстрируют наличие разброса показаний максимального контактного усилия, а также еще большего разброса для значений максимального и остаточного внедрения. Такие неточности обусловлены в первую очередь несовершенством конструкции первичного преобразователя и погрешности выполнения аналого-цифрового преобразования осциллографом. Изучение влияния шумов и погрешностей квантования не затрагивается в данной работе. Принимается предположение о нормальном законе распределения результатов измерения.

Как было отмечено ранее, результаты измерений имеют некоторый разброс, подчиняющийся нормальному закону распределения. Исходя из этого, целесообразно проводить сравнение результатов измерений, обработанных алгоритмом, и результатов с прибора ДИ ИСПГ-1 по величинам среднеквадратических отклонений и математических ожиданий для выбранной характеристики. В качестве такой характеристики было выбрано максимальное внедрение. Таким образом, из 76 дискретных массивов зависимости внедрения во времени $h(t)$ было выбрано 76 максимальных точек. В случае измерений на приборе ИСПГ-1 было получено 40 значений $h \max(t)$.

Для двух выборок максимальных значений были построены кривые плотности распределения, представленные на (рис. 6).

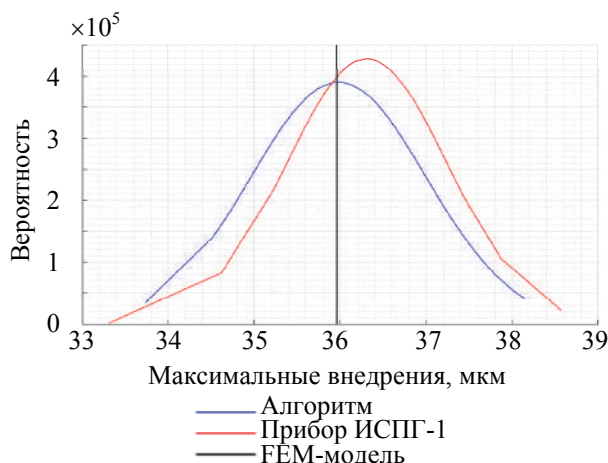


Рис. 6. Плотности распределения и математическое ожидание результатов моделирования

Производить выборку в случае компьютерного моделирования методом конечных элементов (FEM) нецелесообразно, поскольку результаты модели зависят только от предварительно заданных характеристик материала, и в случае неизменности этих характеристик результаты будут повторяться. Численные значения математических ожиданий и среднеквадратического отклонения для выборок максимальных внедрений приведены в табл. 2.

	Прибор ИСПГ-1	Алгоритм	Модель
Среднеквадратичное отклонение, мкм	0,9308	1,023	–
Математическое ожидание, мкм	36,31	36,02	35,96

Таблица 2. Значения статистических показателей

Заключение

Предложен алгоритм первичной обработки сигналов динамического индентирования. Получена компьютерная модель процесса ударно-контактного взаимодействия индентора с поверхностью образца металла твердостью 66НВ.

Получены результаты, показывающие работоспособность разработанной модели и алгоритма обработки первичного измерительного сигнала. Отклонение математического ожидания выборки максимальных внедрений алгоритма и моделирования от математического ожидания выборки с прибора ИСПГ-1 не превышает 1%.

Литература

- Moreira F.D.L., Kleinberg M.N., Arruda H.F., Freitas F.N.C., Parente M.M.V., de Albuquerque V.H.C., Filho P.P.R. A novel Vickers hardness measurement technique based on adaptive balloon active contour method // *Expert Systems with Applications*. 2016. V. 45. P. 294–306. doi: 10.1016/j.eswa.2015.09.025
- Leyia G., Weia Z., Jingb Z., Songling H. Mechanics analysis and simulation of material Brinell hardness measurement //

References

- Moreira F.D.L., Kleinberg M.N., Arruda H.F., Freitas F.N.C., Parente M.M.V., de Albuquerque V.H.C., Filho P.P.R. A novel Vickers hardness measurement technique based on adaptive balloon active contour method. *Expert Systems with Applications*, 2016, vol. 45, pp. 294–306. doi: 10.1016/j.eswa.2015.09.025
- Leyia G., Weia Z., Jingb Z., Songling H. Mechanics analysis and simulation of material Brinell hardness measurement.

- Measurement, 2011, V. 44, N 10, P. 2129–2137. doi: 10.1016/j.measurement.2011.07.024
3. Song J.F., Low S., Pitchure D., Germak A., DeSogus S., Polzin T., Yang H.Q., Ishida H. Establishing a worldwide unified Rockwell hardness scale using standard diamond indenters // *Measurement*, 1998, V. 24, N 4, P. 197–205. doi: 10.1016/S0263-2241(98)00052-9
 4. Sanponpute T., Meesaplak A. Vibration effect on hardness measurement // *Measurement*, 2010, V. 43, N 5, P. 631–636. doi: 10.1016/j.measurement.2010.01.008
 5. Mohamed M.I., Aggag G.A. Uncertainty evaluation of shore hardness testers // *Measurement*, 2003, V. 33, N 3, P. 251–257. doi: 10.1016/S0263-2241(02)00087-8
 6. Крень А.П. Контроль физико-математических свойств и трещиностойкости неметаллических конструкционных материалов методами индентирования: автореф. ... д-ра техн. наук. Минск, 2010.
 7. Рудницкий В.А., Рабцевич А.В. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов // *Дефектоскопия*, 1997, № 4, С. 79–86.
 8. Рабцевич А.В., Мацулевич О.В. Новые возможности метода динамического индентирования в приборе Импульс-2М // *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*, 2007, № 2, С. 29–36.
 9. Kompatscher M. Equotip – rebound hardness testing after D. Leeb // *Proc. HARDMEKO*, 2004, P. 66–72.
 10. Муха Ю.П., Королева И.Ю. Информационно-измерительные системы. Волгоград, ВолгГТУ, 2015. 108 с.
 11. Ozan O., Ozarslan Y. Video lecture watching behaviors of learners in online courses // *Educational Media International*, 2016, V. 53, N 1, P. 27–41.
 12. Бруйка В.А., Фокин В.Г., Солдусова Е.А., Глазунова Н.А., Адеянов И.Е. Инженерный анализ в ANSYS Workbench. Самара: СамГТУ, 2010. 271 с.
 13. Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS. Самара: СамГТУ, 2010. 52 с.
 14. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2006. 248 с.
 15. Клебанов Я.М., Фокин В.Г., Давыдов А.Н. Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций. Самара: СамГТУ, 2004. 100 с.
- Measurement*, 2011, vol. 44, no. 10, pp. 2129–2137. doi: 10.1016/j.measurement.2011.07.024
3. Song J.F., Low S., Pitchure D., Germak A., DeSogus S., Polzin T., Yang H.Q., Ishida H. Establishing a worldwide unified Rockwell hardness scale using standard diamond indenters. *Measurement*, 1998, vol. 24, no. 4, pp. 197–205. doi: 10.1016/S0263-2241(98)00052-9
 4. Sanponpute T., Meesaplak A. Vibration effect on hardness measurement. *Measurement*, 2010, vol. 43, no. 5, pp. 631–636. doi: 10.1016/j.measurement.2010.01.008
 5. Mohamed M.I., Aggag G.A. Uncertainty evaluation of shore hardness testers. *Measurement*, 2003, vol. 33, no. 3, pp. 251–257. doi: 10.1016/S0263-2241(02)00087-8
 6. Kren A.P. *Control of Physical and Mechanical Properties and Crack-Resistance of Nonmetallic Structural Materials by Indentation Methods*. Dis. Dr. Eng. Sci. Thesis. Minsk, 2010.
 7. Rudnitskii V.A., Rabtsevich A.V. Dynamic indentation method for evaluating the mechanical characteristics of metallic materials. *Defektoskopiya*, 1997, no. 4, pp. 79–86. (in Russian)
 8. Rabtsevich A.V., Matsouleovich O.V. Novel features of dynamic indentation method with Impulse-2M instrument. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo*, 2007, no. 2, pp. 29–36. (in Russian)
 9. Kompatscher M. Equotip – rebound hardness testing after D. Leeb. *Proc. HARDMEKO*, 2004, pp. 66–72.
 10. Mukha Yu.P., Koroleva I.Yu. *Information-Measuring Systems*. Volgograd, VolgGTU Publ., 2015, 108 p. (in Russian)
 11. Ozan O., Ozarslan Y. Video lecture watching behaviors of learners in online courses. *Educational Media International*, 2016, vol. 53, no. 1, pp. 27–41.
 12. Bruyaka V.A., Fokin V.G., Soldusova E.A., Glazunova N.A., Adeyanov I.E. *Engineering Analysis in ANSYS Workbench*. Samara, Russia, SSTU Publ., 2010, 271 p. (In Russian)
 13. Luk'yanova A.N. *Simulation of the Hookup Problem using the ANSYS Software*. Samara, Russia, SSTU Publ., 2010, 52 p. (in Russian)
 14. Basov K.A. *Graphical Interface of the ANSYS Complex*. Moscow, DMK Press, 2006, 248 p. (in Russian)
 15. Klebanov Ya.M., Fokin V.G., Davydov A.N. *Modern Methods of Computer Modeling of Processes of Structures Deformation*. Samara, Russia, SSTU Publ., 2004, 100 p. (in Russian)

Авторы

Кузьмичев Михаил Валерианович – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-4055-975X, kuzmichev.m92@gmail.com
Егоров Роман Александрович – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-4483-5347, roman1465@yandex.ru

Authors

Mikhail V. Kuzmichev – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-4055-975X, kuzmichev.m92@gmail.com
Roman A. Egorov – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-4483-5347, roman1465@yandex.ru