

УДК 620.178.7:621.9.048

**ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА
ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

Микитевич В. А.¹, Протасеня Т. А.², Воробей Р. И.¹, Гусев О. К.¹, Пантелеев К. В.¹, Тявловский А. К.¹, Жарин А. Л.¹, Самарина А. В.¹, Крень А. П.², Мацулевич О. В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Прикладное программное обеспечение предназначено для управления измерительной установкой для исследования процессов упругопластического деформирования материалов и измерения их механических характеристик методом инструментального индентирования и вывода числовой и графической информации о ходе и результатах измерений с использованием виртуальной системы управления. Вывод результата измерений (графическое представление), как и управление процессом индентирования, осуществляется в режиме реального времени на основе оригинальных алгоритмов управления измерительной установкой и обработки сигналов от датчиков силы и перемещения.

Ключевые слова: программное обеспечение, упругопластическое деформирование, индентирование, оконный интерфейс, диаграмма вдавливания.

**SOFTWARE AND ALGORITHMIC TOOLS FOR SUPPORTING THE PROCESS OF MEASURING
THE ELASTOPLASTIC PROPERTIES OF MATERIALS**

**Mikitsevich V. A.¹, Pratasenia T. A.², Vorobey R. I.¹, Gusev O. K.¹, Pantsialeu K. U.¹,
Tyavlovsky A. K.¹, Zharin A. L.¹, Samarina A. V.¹, Kren A. P.², Matsulevich O. V.²**

¹Belarusian National Technical University

²Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The applied software is designed to control a measuring system for studying elastoplastic deformation processes in materials and measuring their mechanical properties using instrumented indentation technique. It displays numerical and graphical information about the progress and results of measurements using a virtual control system. The display of measurement results (graphical representation), as well as the control of the indentation process, is performed in real time using proprietary algorithms for controlling the measuring system and processing signals from force and displacement sensors.

Keywords: software, elastoplastic deformation, indentation, window interface, indentation diagram.

Адрес для переписки: Тявловский А. К., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: tyavlovsky@bntu.by

Традиционные измерения упругопластических свойств материалов методом индентирования предусматривают выполнение ряда ручных либо частично механизированных операций (вдавливание индентора с определенной силой нагружения, измерение диаметра отпечатка, построение диаграммы вдавливания по отдельным экспериментальным точкам), что является трудоемким и не гарантирует объективности получаемых результатов. Использование в таких измерениях (испытаниях) автоматизированных средств измерений под управлением персонального компьютера позволяет исключить ручные операции, однако требует разработки и отлаки специальных программно-алгоритмических средств, обеспечивающих как управление режимом испытаний, так и обработку их результатов по специфичным алгоритмам с учетом заданного режима. При разработке таких средств необходимо учитывать, что часть данных, получаемых в ходе ручных операций (в частности, диаметр отпечатка), недоступна для автоматизированных средств. В то же время, для

алгоритмической обработки могут использоваться другие данные, в частности, глубина погружения индентора, анализируемые в реальном масштабе времени и используемые, в том числе, как сигналы обратной связи для управления процессом индентирования. Проведенный анализ показал, что при этих условиях вся необходимая информация об упругопластических свойствах материалов может быть получена только на основе математического анализа диаграммы вдавливания, получаемой по результатам обработки показаний датчиков силы и глубины вдавливания без измерения диаметра отпечатка, при условии, что управление режимом вдавливания также осуществляется автоматически в реальном времени в замкнутом контуре обратной связи.

Разработанное прикладное программное обеспечение (ПО) предназначено для управления измерительной установкой для исследования процессов упругопластического деформирования материалов и измерения их механических характеристик методом инструментального индентиро-

вания, вывода числовой и графической информации о ходе и результатах измерений с использованием виртуальной системы управления, в рамках которой все управляющие элементы представлены на экранном интерфейсе персонального компьютера (рисунок 1). С учетом разнообразия режимов работы измерительного комплекса, для исключения перегрузки экранного интерфейса элементами управления и удобного вывода числовой и графической информации о ходе и результатах измерений для виртуальной панели управления применен оконный интерфейс, включающий область ввода параметров режима нагружения и область вывода графического результата измерений. Вывод результата измерений (графическое представление), как и управление процессом индентирования, осуществляется в режиме реального времени.

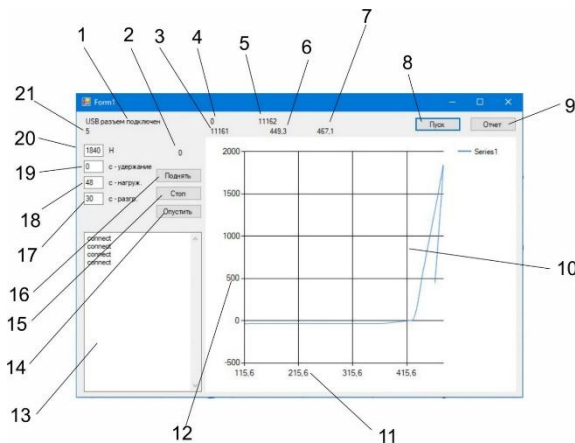


Рисунок 1 – Окно приложения

Представленные в оконном интерфейсе элементы управления и отображения включают:

1 – индикатор подключения по шине USB: «USB разъем подключен» / «USB разъем не подключен!»;

2 – индикатор состояния: «1» – каретка в верхнем положении (сработал верхний концевой выключатель); «2» – каретка в нижнем положении (сработал нижний концевой выключатель); «0» – ошибка (сработали верхний и нижний концевой выключатели);

3 – номер текущего измерения;

4 – индикатор очереди копирования результатов измерения из электронного блока в персональный компьютер (0 соответствует отсутствию очереди – данные передаются в реальном времени);

5 – номер текущих скопированных данных;

6 – текущее значение силы в ньютонах;

7 – текущее значение перемещения в микрометрах;

8 – кнопка запуска цикла измерения;

9 – кнопка сохранения результатов измерения (данные сохраняются в текстовый файл в три

столбца: номер измерения, значение перемещения в микрометрах, значение силы в ньютонах);

10 – область построения диаграммы нагружения в реальном времени;

11 – ось абсцисс – значения перемещения в микрометрах;

12 – ось ординат – значение силы в ньютонах;

13 – консоль состояния и индикации ошибок;

14 – кнопка запуска перемещения каретки вниз;

15 – кнопка останова;

– в режиме перемещения – останавливает перемещение;

– в режиме измерения – осуществляет останов процесса измерения и возврат каретки;

16 – кнопка запуска перемещения каретки вверх;

17 – время процесса разгрузки в секундах;

18 – время процесса нагружения в секундах;

19 – время удержания при максимальной силе в секундах;

20 – максимальная сила, прикладываемая индентором к образцу в ньютонах;

21 – текущее состояние комплекса: «0» – исходное состояние; «1» – движение вниз; «2» – движение вверх; «3» – процесс нагружения; «4» – процесс удержания при максимальной силе; «5» – процесс разгрузки; «6» – очистка памяти электронного блока управления.

С использованием данного ПО управление процессом измерения упругопластических свойств сводится к заданию основных числовых параметров режима испытаний, например:

– сила нагружения – 2000 Н;

– время удержания – 0 с;

– время нагружения – 10 с;

– время разгрузки – 10 с.

Результаты измерений могут быть сохранены в виде файла отчетной таблицы либо наглядно представлены графической диаграммой вдавливания (рисунок 2).

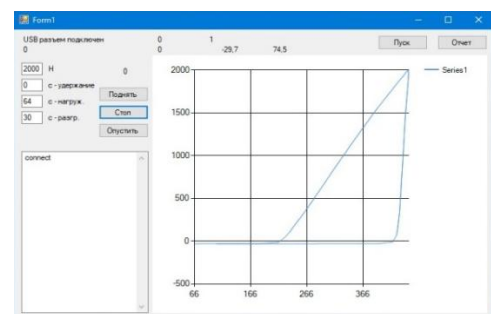


Рисунок 2 – Пример диаграммы вдавливания при испытании образца стали (100 HB)

На основании полученных результатов ПО осуществляет автоматический расчет упругопластических характеристик материала.