

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов, А.А. Особенности технологической схемы отработки запасов на руднике «Яковлевский» / А.А. Антонов, М.Д. Морозов, А.С. Малютин // Записки Горного института: Полезные ископаемые России и их освоение. – СПб., 2012. – Т. 195. – С. 85–88.
2. Отчет Санкт-Петербургского государственного горного института имени Г.В. Плеханова (технический университет) от 09.06.2003 о НИР «Научное сопровождение строительства и ввода в эксплуатацию Яковлевского рудника».
3. Способ разработки мощных крутопадающих залежей неустойчивых руд: Патент 2490461 Российская Федерация, E21C 41/22, E21D 19/00 / В.П. Зубов, А.А. Антонов, А.С. Малютин, М.Д. Морозов, П.С. Масленников; патентообладатель. – С.-Петербург. гос. горный ун-т. – Оpubл. 20.08.2013. – Бюл. № 23.

УДК 004.932.2

### МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

### ALGORITHM OF LARGE DEFORMATION REGISTRATION DURING LABORATORY TESTS

Дементьева А.В., студент, Санкт-Петербургский горный университет,  
Санкт-Петербург, dementyeva\_av@mail.ru  
Dementeva A.V., student, Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg,  
dementyeva\_av@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлен обзор метода корреляции цифровых изображений (DIC). При проведении испытаний на одноосное сжатие регистрация поперечных деформаций возможна при помощи датчиков поперечных деформаций, однако они не дают возможности исследовать поведение материала после разрушения, так как меняют свое положение вследствие динамического разрушения материала. DIC-метод позволяет записывать процесс лабораторных испытаний, а затем распознавать величину деформаций в каждой точке сечения.

**Ключевые слова:** метод корреляции цифровых изображений, лабораторные испытания, испытания на одноосное сжатие, ncorr, MatLab

**Abstract.** The paper presents a review on digital image correlation method (DIC-method). Lateral deformations during uniaxial compression test can be detected with special devices. The devices aren't able to catch post-peak strains, as can be replaced with dynamic failure energy. DIC-method consists of testing process video recording and then deformation measurements.

**Key words:** DIC-method, laboratory test, UCS test, ncorr, MatLab

**Введение.** Как в строительстве, так и в горном деле лабораторные испытания являются неотъемлемой частью ведения работ. По данным лабораторных испытаний можно получить предел прочности материала, а также его деформационные характеристики. Однако если для определения показателей прочности необходимо знать только геометрические параметры материала и максимальную приложенную нагрузку, то для определения деформационных характеристик – как минимум продольные деформации. А для определения коэффициента Пуассона еще и поперечные.

Регистрация продольных деформаций происходит по датчикам и ходу поршня пресса. При проведении одноосных испытаний регистрация поперечных деформаций

в большинстве своем проводится при помощи датчиков, которые зафиксированы вокруг образца. Величина деформаций регистрируется по ходу бегунка датчика.

Использование датчиков позволяет достичь большой точности в регистрации деформаций, однако также обладает рядом недостатков. Во-первых, простые датчики не могут корректно описывать процесс запредельного деформирования, так как после разрушения образца положение датчиков может измениться за счет высвобождения динамической энергии разрушения. Во-вторых, датчики требуют большой точности в процессе их установки. В-третьих, стоимость датчиков достаточно высока, чтобы массово использовать их в образовательном процессе.

**Метод корреляции цифровых изображений.** Вопрос упрощения процесса регистрации продольных деформаций достаточно актуален, ввиду необходимости проведения лабораторных испытаний и получения деформационных характеристик материалов. Одним из его решений, быстро интегрируемых в образовательный процесс, является видео регистрация процесса испытания с дальнейшей ее обработкой.

Такой метод называется методом корреляции цифровых изображений (DIC-алгоритм) и состоит из нескольких этапов. Первый этап – видео-фиксация процесса испытания. Камера устанавливается так, чтобы без искажений записывать деформации поперечного сечения образца. Весь процесс лабораторных испытаний фиксируется на видео. Далее производится поочередная раскадровка и загрузка кадров в программу, где алгоритм производит расчет поперечных деформаций образца и выдает их количественное значение. На последнем этапе производится совмещение напряжений и полученных деформаций и построение диаграммы деформирования образца.

Алгоритм программы берет за основу точки на сечении образца, отслеживает и фиксирует их перемещения. Затем по откалиброванным размерам определяет относительные смещения.

Одним из доступных программных пакетов, работающих на DIC-алгоритме, является программа ncorr, интегрируемая в среду MatLab (рис. 1).

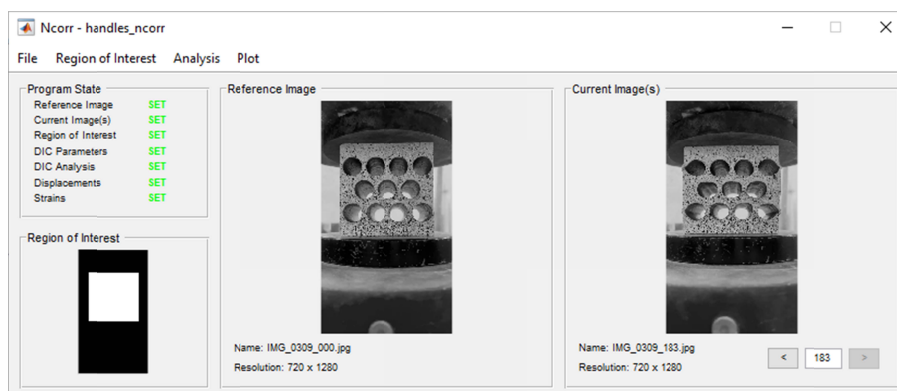


Рис. 1. Процесс обработки данных в программе ncorr

В процессе реализации метода корреляции цифровых изображений возникают некоторые трудности. Во-первых, на поверхность образца необходимо нанести маску, по которой будут фиксироваться перемещения точек сечения. Во-вторых, для регистрации объемных деформаций необходимы специальные 3D-камеры, а в случае съемки обычной камерой и регистрации плоских деформаций форма образца должна быть призматической. В-третьих, установка камеры должна производиться так, чтобы в процессе съемки не создавались визуальные помехи (блики, искажения).

Однако метод обладает рядом преимуществ, что делает его привлекательным для внедрения в процесс обучения. Во-первых, специальная маска, наносимая на поверхность образца, может быть имитирована при помощи баллончика с краской. Во-вторых,

для записи деформаций достаточно камеры обычного телефона. В-третьих, программа для обработки данных работает на базе MATLAB, что исключает необходимость дополнительных затрат на оборудование.

Основным преимуществом метода является возможность регистрации деформаций образца неправильного или сложного поперечного сечения, в тех случаях, когда регистрация поперечных деформаций другими методами невозможна.

**Заключение.** Таким образом, метод корреляции цифровых изображений может быть легко применим для определения деформаций образца. Точность полученных данных обеспечивается точностью калибровки и размером отслеживаемой точки. Кроме того, за счет доступности используемых инструментов, метод может применяться в образовательном процессе при выполнении лабораторных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: ГОСТ 21153.2-84. – Введ. 1986-07-01.
2. Ncorr Instruction Manual [Электронный ресурс].
3. Passieux, J.C., Bouclier, R. & Périé, J.N. A Space-Time PGD-DIC Algorithm: Exp Mech 58, 1195–1206 (2018).
4. Chang Ma, Zhoumo Zeng, Hui Zhang, Xiaobo Rui Variable subset DIC algorithm for measuring discontinuous displacement based on pixel-level ZNCC value distribution map, Measurement, Vol. 180, 2021.
5. Любутин П.С., Панин С.В., Титков В.В., Еремин А.В., Сундер Р. Развитие метода корреляции цифровых изображений для изучения процессов деформации и разрушения конструкционных материалов // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2019. – № 1.
6. Плешанов В. С., Кибиткин В. В., Напряшкин А. А., Солодушкин А. И. Измерение деформации материалов методом корреляции цифровых изображений // Известия ТПУ. 2008. – № 2.
7. Nick McCormick, Jerry Lord Digital Image Correlation, Materials Today, Vol. 13, Iss. 12, 2010.

УДК 621.9

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНИШНОЙ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ MAO FOR THE FINAL QUALIFICATION WORK OF THE BACHELOR IMPROVEMENT OF THE FINISHING OPERATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING A MEDICAL INSTRUMENT BASED ON MAP**

Дли М., Санкт-Петербургский горный университет,  
Санкт-Петербург, Россия, mihail.dli@yandex.ru

M.Dli, Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, mihail.dli@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе рассматривается финишная операция технологического процесса изготовления стоматологического инструмента.

В ходе работы был проведен анализ причин дефектов на поверхности стоматологического инструмента.

Для решения задачи обеспечения качества изготовления медицинского инструмента и повышения эксплуатационных свойств предложена альтернатива финишной обработки на шлифовальных лентах и кругах в пользу магнитно-абразивной обработки.