

УДК 620.178.4.6

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ  
ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ДЮРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман**

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,  
г. Гомель*

**Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», г. Гомель*

*Исследовано влияние таких неоднородностей горной породы, как пористость, минералогический состав, дисперсность составляющих литофаций, трещиноватость на ее механические свойства методом индентирования. Полученный разброс значений предела прочности при приблизительно одинаковом минералогическом составе kernового материала показывает влияние дисперсности составляющих литофаций.*

**Ключевые слова:** горная порода, механические свойства, минералогия, индентирование.

**STUDY OF ROCK HETEROGENEITY IMPACT ON ITS MECHANICAL  
PROPERTIES BY THE DUROMETRIC METHOD**

**I. N. Stepankin, R. E. Hutman**

*BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel*

**N. V. Bocharov, V. M. Tkachev**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The influence of such heterogeneities of the rock as porosity, mineralogical composition, dispersity of lithofacies constituents, fracturing on its mechanical properties has been studied by indentation, the resulting spread of tensile strength values with approximately the same mineralogical composition of the core material and shows the effect of dispersity of lithofacies constituents.*

**Keywords:** rock, mechanical properties, mineralogy, indentation.

Современные подходы к исследованию керна отличаются углубленной оценкой влияния неоднородностей горной породы на ее механические свойства. Подробная детализация лежит в основе концепции цифрового керна, активно развиваемой в последние годы [1]. Одним из путей реализации обозначенного подхода является дюрометрическое исследование прочностных характеристик, позволяющее локализовать зону исследования до нескольких миллиметров, и подробно изучить влияние минералогического состава [2].

**Объекты и методики исследований.** В качестве объектов исследований использованы образцы керна стандартных размеров  $\varnothing 30 \times 60$ . Для оценки их прочностных свойств применяли оригинальную методику индентирования, которая помимо прочности при сжатии позволяет также определить модуль Юнга исследуемой области горной породы [3]. Концептуальная задача по оценке влияния минералогического состава на прочностные характеристики решалась посредством механического отбора пробы из области керна, подвергнутой индентированию с последующим анализом на рентгеновском дифрактометре SmartLab SE Ригаку 100000010411. Объем

отобранной пробы не превышал нескольких кубических миллиметров, что обеспечивало возможность неоднократного повторения исследования на торцевой поверхности стандартного керна. Дополнительные исследования по оценке дисперсионного состава исследуемых образцов горных пород осуществляли с помощью электронного микроскопа TESKAN.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Влияние минералогического состава на прочностные и упругие характеристики выявило дополнительный аспект по теме исследований. Как будет показано ниже, в некоторых случаях наблюдается существенный разброс итоговых показателей прочности при близких по соотношениям концентрациям минералов, составляющих керновый образец. Речь идет о необходимости учета зернистого состава горной породы, и, как следствие, – его связи с локальной пористостью.

В приведенном на рис. 1 результате исследований показано, что в некоторых случаях образцы, состоящие преимущественно из доломита, отличаются достаточно однородным распределением свойств по объему. Отмеченная особенность в полной мере подтверждает первоначальную гипотезу исследований о влиянии минералогии на локальную неоднородность. Отмеченный аспект в первом приближении применяется для построения моделей цифрового геомеханического керна с учетом возможности компьютерной гомогенизации распределенных пор [1].

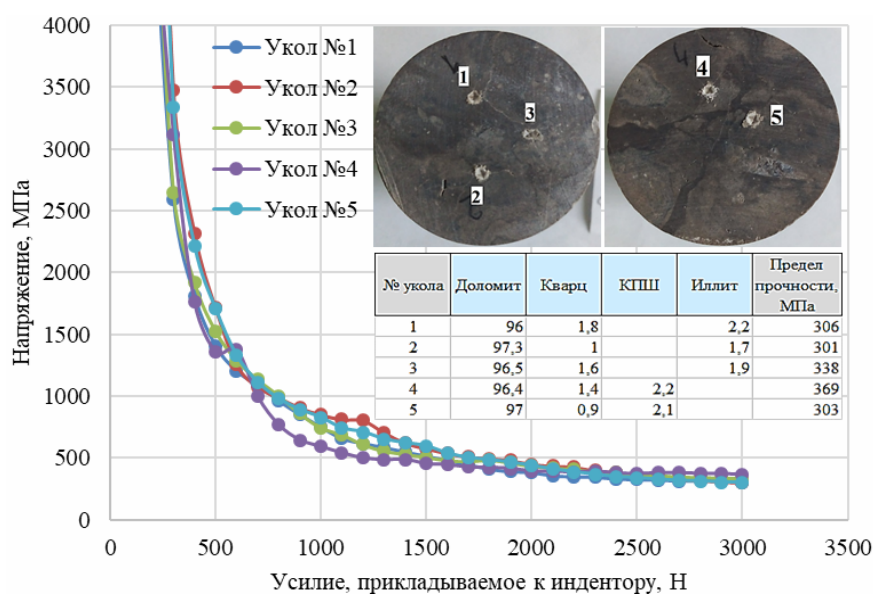


Рис. 1. Исследование образца керна скважины № 160q Мармовичского месторождения (горизонт – D3el; глубина – 3068,56 м)

Однако подобное упрощение не является универсальным граничным условием. Результаты исследований достаточно разнородных по своему составу образцов показали влияние размерного фактора – степени дисперсности зерен породы на ее характеристики. В частности, результаты, представленные на рис. 2, показывают, что испытания под номером 4 и 5 (укол 4 и укол 5) произведены для зонального объема горной породы с подавляющим преобладанием кальцита – 97,07 и 98,4 % соответственно. Полученные результаты (178 и 80 МПа) различаются практически в два раза. Учитывая высокий уровень адаптации индентора к реакциям испытываемого материала за счет многократного повторения испытания с постепенным возрастанием при-

## Секция 6. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений 205

кладываемой нагрузки, можно сделать вывод о достаточно высокой зависимости конечного результата от дополнительного фактора, которым в нашем случае является размер зерен.

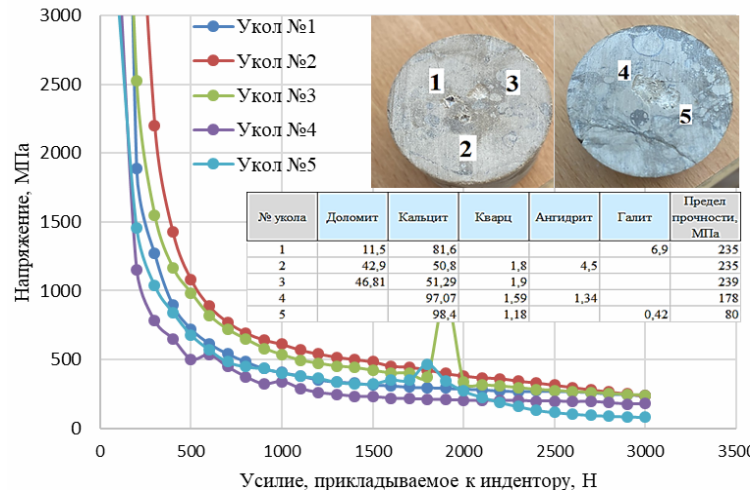


Рис. 2. Исследование образца керна скважины № 3 Бескопыльновского месторождения (горизонт – D3sr; глубина – 3079,57 м)

Для проверки указанного предположения образец, представленный на рис. 2, был дополнительно исследован с помощью электронной микроскопии. Ее результат подтвердил наличие разномасштабного строения породы в окрестности уколов 4 и 5. Проведенный анализ поверхности образца керна со сбором спектральной информации с отдельных площадок показал наличие под индентором двух разных литофаций (рис. 3), а также разномасштабное строение литофаций одного минералогического состава, что непосредственно оказывает существенное влияние на результат индентирования.

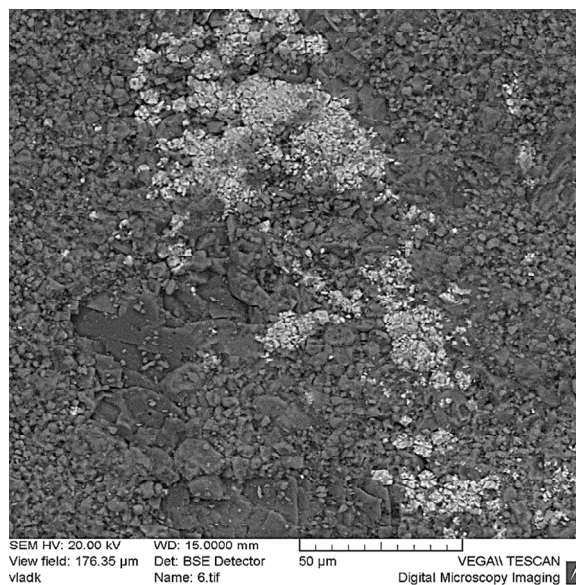


Рис. 3. Морфология разномасштабного строения поверхности керна с выраженным наличием двух разнородных литофаций

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность предложенного метода определения упруго-прочностных свойств горных пород с высокой степенью неоднородности по сравнению с одноосным сжатием. Установлено, что разнородное строение литофаций одного минералогического состава оказывает существенное влияние на упруго-прочностные свойства.

**Литература**

1. Начев, В. А. Физико-математическое моделирование процессов механического разрушения пород-коллекторов в микро- и наномасштабах / В. А. Начев, А. В. Казак, С. Б. Турунтаев // ПРОНЕФТЬ. – 2019. – декабрь. – Вып. 4. DOI: 10/24887/2587-7399-2019-4-48-55
2. К вопросу использования индентирования для исследования свойств породы / И. Н. Степанкин [и др.] // SPE International : материалы Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–15 окт. 2021 г. – М., 2021. – 11 с.
3. Способ определения предела прочности на сжатие образца горной породы : пат. 23260 Респ. Беларусь, МПК (2006.1) G 01 N 3/32 / Степанкин И. Н., Халецкий А. В., Ткачев В. М., Гутман Р. Е. ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Опубл. 30.12.20.

УДК 004.942:622.276

**ЦИФРОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ КЕРНА**

**Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

**И. Н. Степанкин, Р. Е. Гутман**

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель*

*Представлены результаты применения принципов 3D-моделирования в отношении макроструктуры образцов горных пород. Проведены эксперименты по сегментации исходного рентгеновского изображения. На их основе построена конечно-элементная модель керна, пригодная для виртуального исследования с целью анализа напряженно-деформированного состояния и моделирования других геомеханических исследований.*

**Ключевые слова:** цифровой керн, геомеханика, компьютерная томография, сегментация.

**DIGITAL INTERPRETATION OF THE GEOMECHANICAL CORE MODEL**

**N. V. Bocharov, V.M. Tkachev**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

**I. N. Stepankin, R. E. Hutman**

*BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel*

*The paper presents the results of the principles of 3D modeling application in relation to the macrostructure of rock samples. Experiments were carried out to make a segmentation of the original X-ray image. On their basis a finite element model of the core was built, suitable for virtual research in order to analyze the stress-strain state and simulate other geomechanical research.*

**Keywords:** digital core, geomechanics, computerized tomography, segmentation.