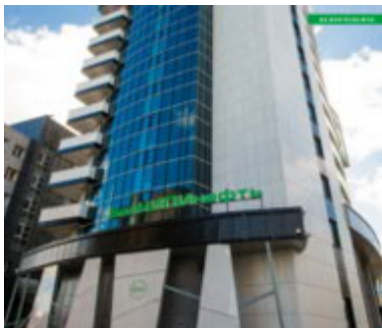


Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ
16-19 ноября 2021 года



Методологические особенности применения склерометрических и дюрометрических способов исследования керна

И.Н.Степанкин, А.В.Халецкий, Р.Е.Гутман, В.М.Ткачев



BELORUSNEFT

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ



Портландцемент ПЦТ I-G-CC-1,
вода пресная, водоцементное
отношение 0,44

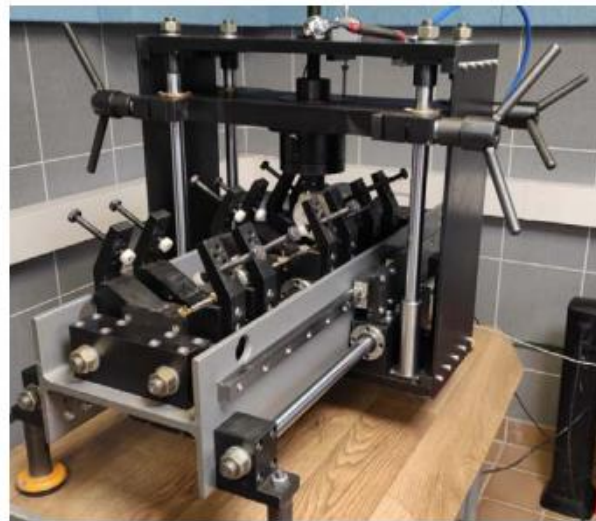
Ø40×80 мм



Установка трехосного сжатия RTR-1000

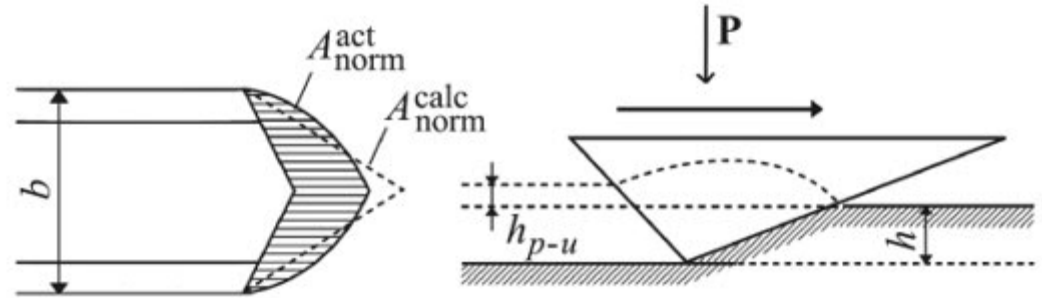
Scratch Test

Индентирование

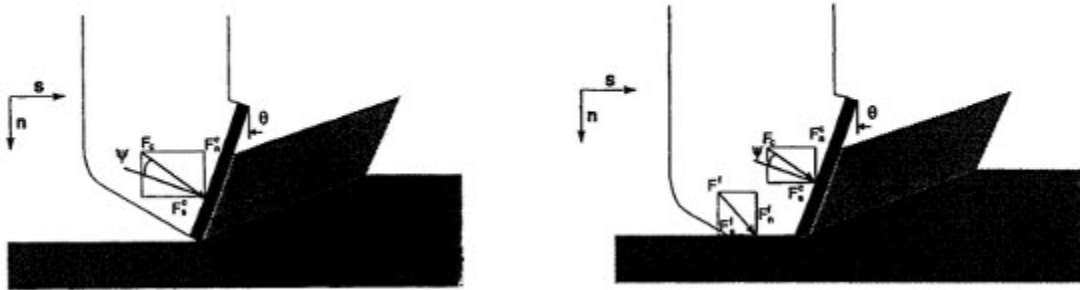


Теоретические аспекты СКРЭЙЧИРОВАНИЯ

Склерометрия — процесс измерения твёрдости методами царапания (формирования микроборозд) различных материалов и покрытий при внедрении индентора на глубину нескольких микро- или нанометров.



Скрэйчирование — профилирование боковой поверхности керна с получением небольшой канавки шириной 2,5...30 мм и глубиной до 2 мм



Portable rock strength evaluation device. United States Patent 5670711 : G01N 3/00. E. Detournay, A. Drescher, D.A. Hultman ; published 23.09.1997.

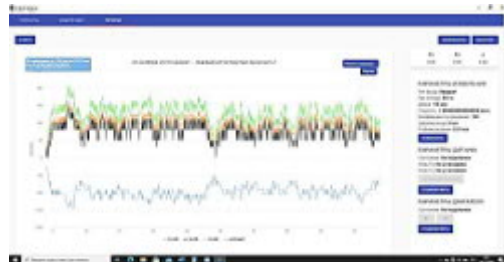


Скрэйчивание с различными глубинами

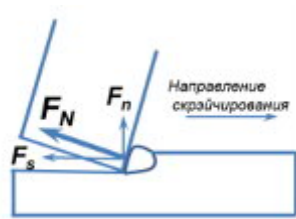
0,2 мм



0,3 мм



0,4 мм



0,5 мм



0,6 мм

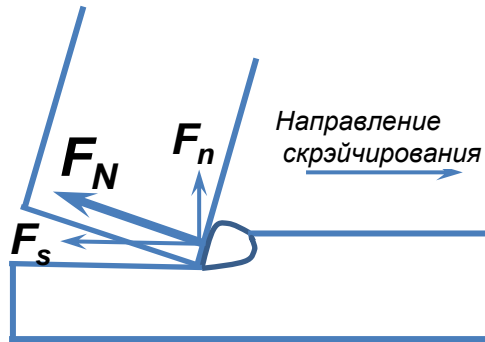


0,7 мм



Детализация профилограмм скрэйчирования

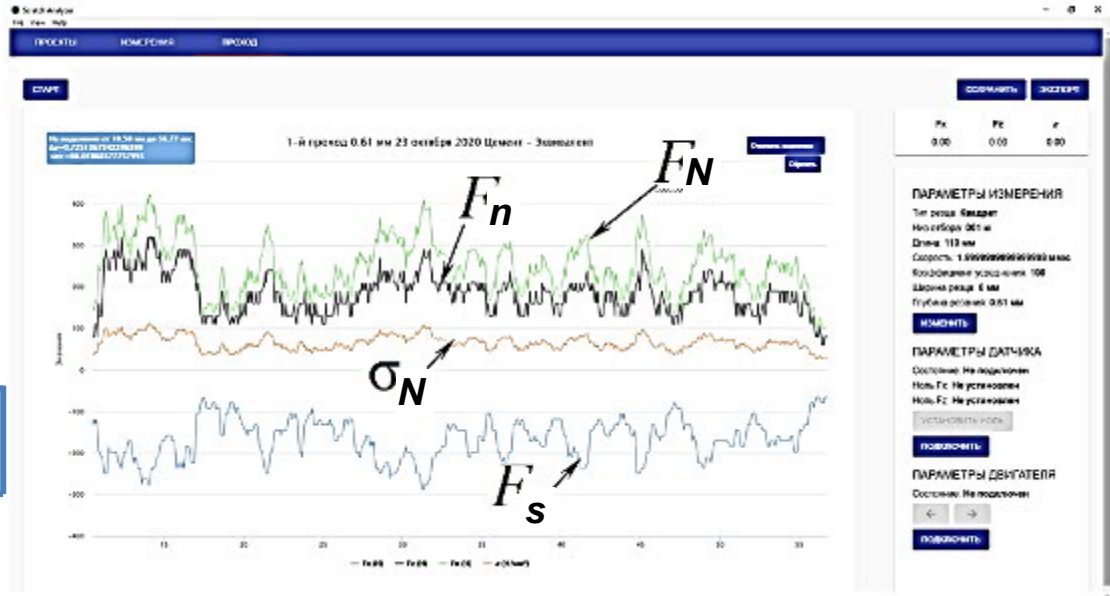
Глубина резания 0,6 мм



$$F_N = \sqrt{F_n^2 + F_s^2}$$

$$\sigma_N = F_N / wd$$

w – ширина канавки d – глубина канавки



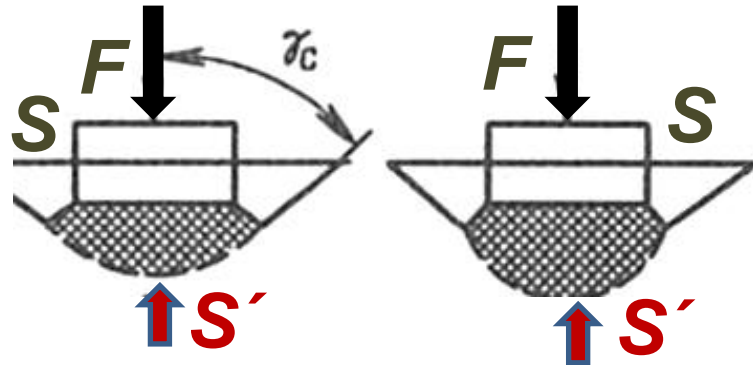
Анализ результатов скрэпирования



Теоретические аспекты индентирования

Площадь контактной поверхности плоского штампа S

по Р.М.Эйгелесу



по Л.А.Шрейнеру
и Н.Н.Павловой

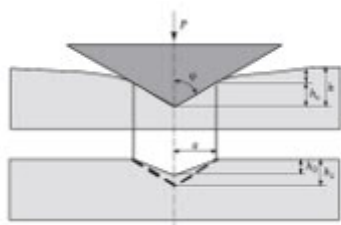
Площадь сферического фронта разрушения породы S'

$$S' \neq S$$

Величина реальной площади контакта, по которой происходит разрушение не может быть определена с необходимой точностью

Теоретические аспекты индентирования

СОВРЕМЕННЫЙ АНАЛОГ МЕТОДА Л.А.ШРЕЙНЕРА



ИНДЕНТОР ПЕРЕМЕННОГО
СЕЧЕНИЯ
– КОНУС ИЛИ ПИРАМИДА

МНОГОКРАТНОЕ
ВДАВЛИВАНИЕ
В ОДНУ ТОЧКУ ПОРОДЫ

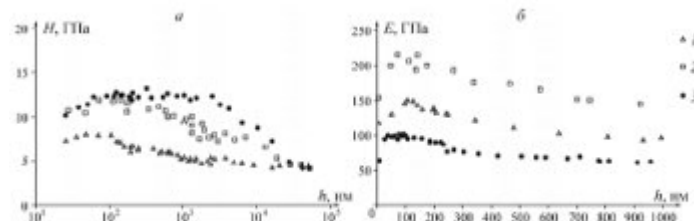
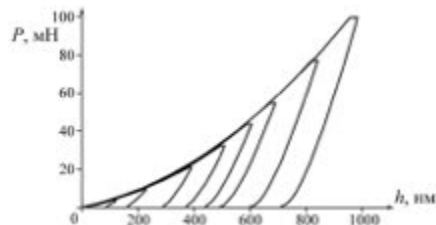


Рис. 4. Зависимость твердости H (а), модуля Юнга E (б) от глубины отпечатка h для минеральных компонентов: 1 — геммы; 2 — магнетит; 3 — кварц.

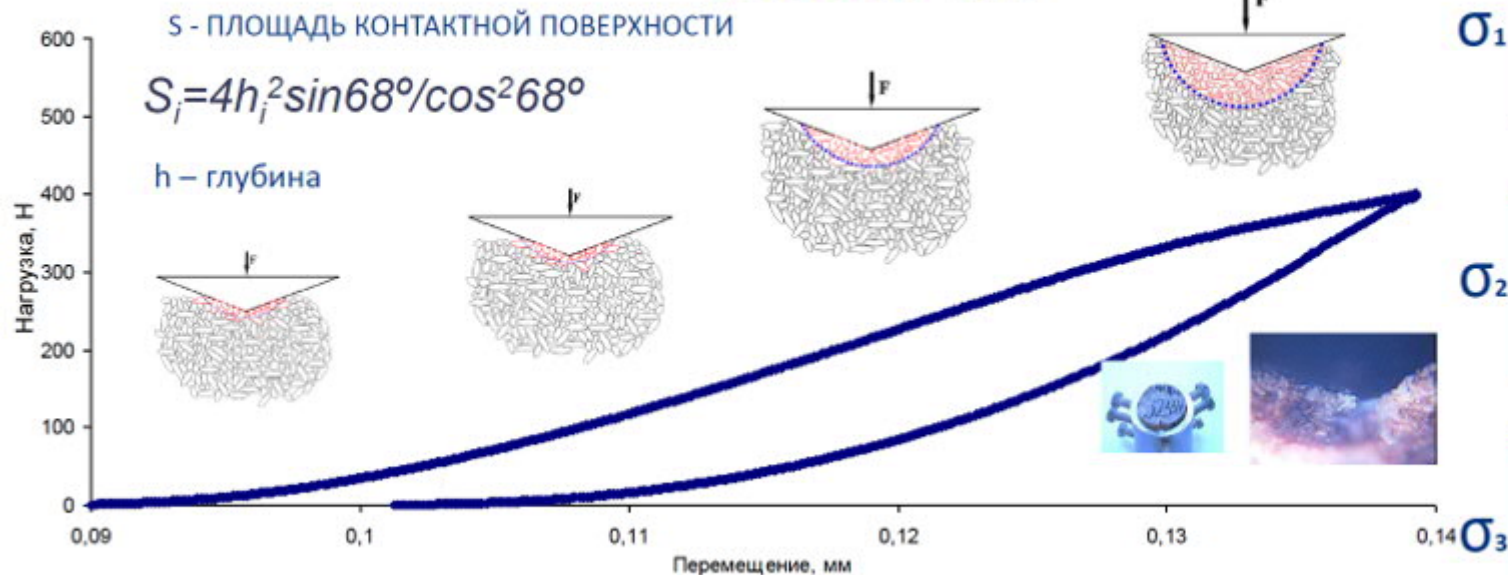
ПОЛУЧЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ТВЕРДОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ
ДОСТИЖЕНИИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ГЛУБИН
ВДАВЛИВАНИЯ

W.C.Oliver, G.P.Pharr. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res.— 1992.— v. 7.— № 6.— P.1564-1575.

Micro- and nanoindentation approach to strength and deformation characteristics of minerals / Viktorov S.D., Kochanov A.N., Golovin Y.I., Tyurin A.I., Shuklinov A.V., Shuvarin I.A., Pirozhkova T.S. // Journal of Mining Science. 2014. T. 50. #4. C. 652-659.



РЕОЛОГИЯ ПОРОДЫ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ ИНДЕНТОРА ВИККЕРСА



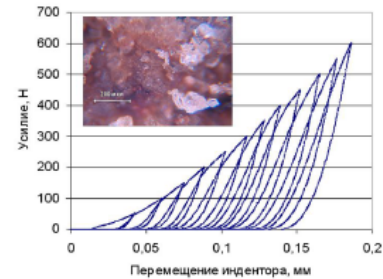
ОЧАГ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОРОДЫ ОТДЕЛЕН СФЕРИЧЕСКИМ ФРОНТОМ

Расчет НДС в соответствии с моделью Друкера-Прагера



BELORUSNEFT

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ



Циклическое нагружение испытуемого материала индентором переменного сечения с возрастанием максимальной нагрузки (F_{max_i}) в каждом последующем цикле

F_i - упругопластическое вдавливание индентора на стадии нагружения

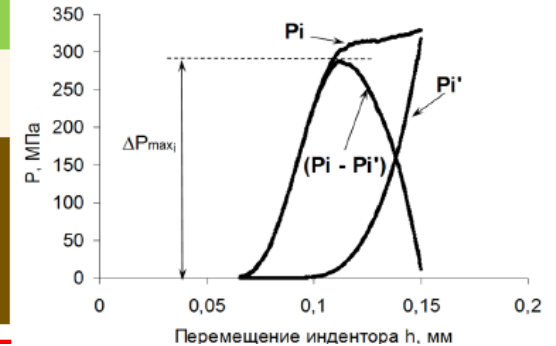
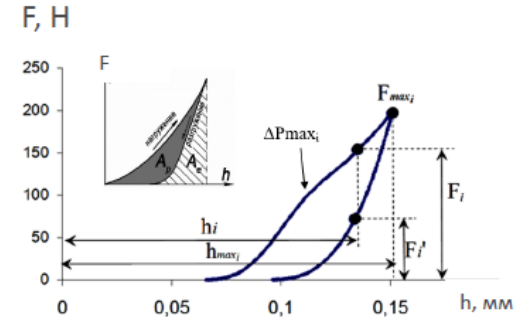
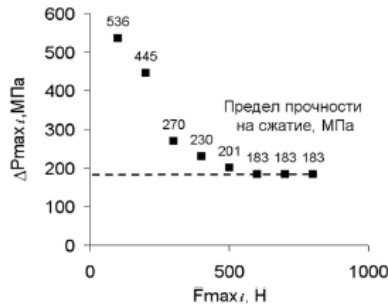
F_i' - упругая отдача породы на стадии разгрузки

P_i - давление (напряжение под индентором) на стадии упруго-пластической деформации породы

P_i' - давление упругого восстановления породы

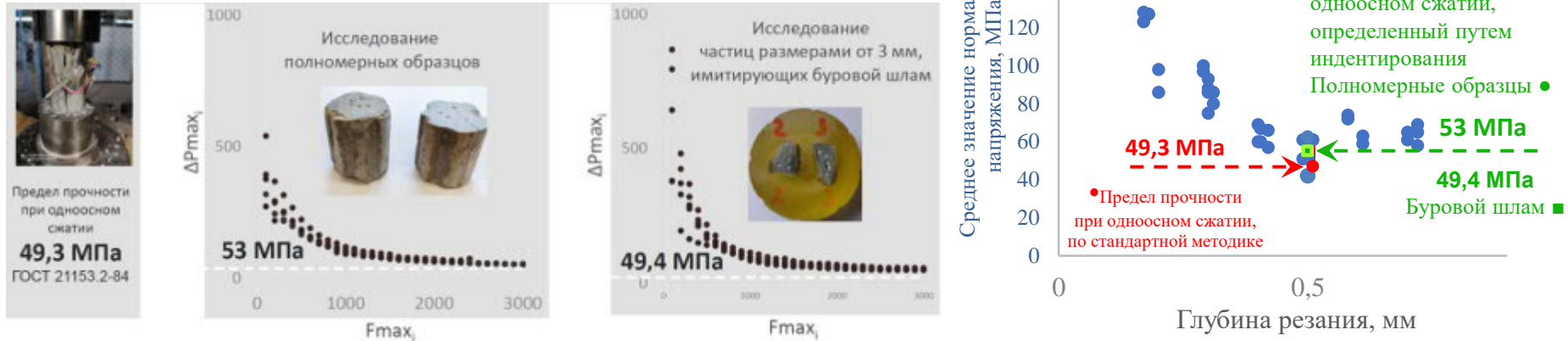
ΔP_{max_i} – давление (напряжение) вызывающее пластическую деформацию породы под индентором

Результатом испытания является значение давления под индентором (ΔP_{max_i}) вызывающее пластическую деформацию породы и соответствующее горизонтальной асимптоте на итоговом графике степенной функции по результатам серии циклических испытаний



Сопоставление результатов скрэйчирования, индентирования и одноосного сжатия

Результаты проведенных исследований показывают, что современные способы оценки прочностных характеристик горных пород, основанные на склерометрическом и дюрометрическом методах по точности определения предела прочности горных пород не уступают стандартной методике. Их применение не требует специальной подготовки образцов. С их помощью можно производить экспресс-анализ прочности горных пород на кернах любого размера, а также малоразмерных образцах величиной от 3 мм, например частицах обвального шлама из неустойчивых интервалов при бурении.



Авторы выражают благодарность за оказанное содействие в изготовлении лабораторных образцов из тампонажного цемента сотрудникам БелНИПнефть РУП «ПО «Белоруснефть» - заведующему Отделом строительства скважин Д.В.Порошину и инженеру-технологу 2-й категории лаборатории крепления скважин службы химических исследований Отдела строительства скважин Д.В.Пилипчуку

Спасибо за внимание!



BELORUSNEFT