

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

# Сучасні методи дослідження нанотвердості металів і сплавів

Гаркавенко Д. В.  
Сташевська І.В.  
Черкашин М.О.  
Науковий керівник теми  
канд. техн. наук, доцент  
Олішевська В. Є.

Дніпро  
2019

# ***Связь работы с научными и учебными планами кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства***

Работа выполнена в соответствии с учебной программой подготовки  
специалистов по специальности  
274 Автомобильный транспорт

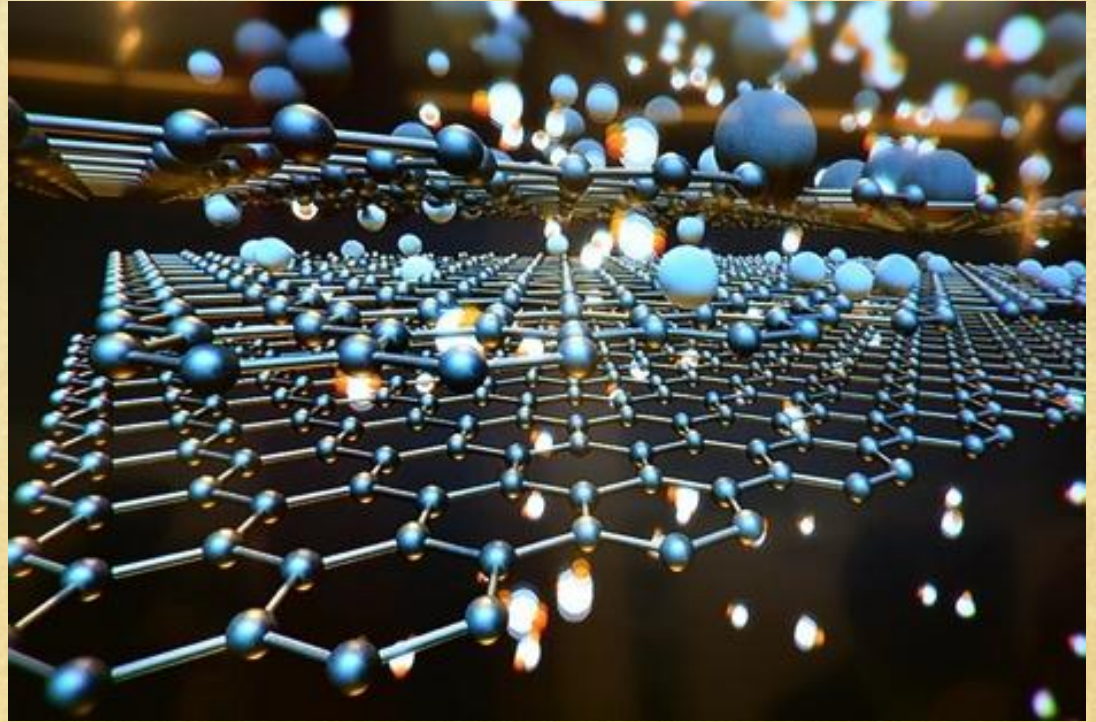


## Актуальность темы.

Создание современных качественных деталей автомобилей требует разработки и применения новых материалов и технологий. В последние десятилетия интенсивное развитие получили наноматериалы, характеризующиеся наноразмерным уровнем структурных составляющих и более высокими механическими свойствами.

Однако внедрение наноматериалов в производство не возможно без новых надежных методов контроля качества.





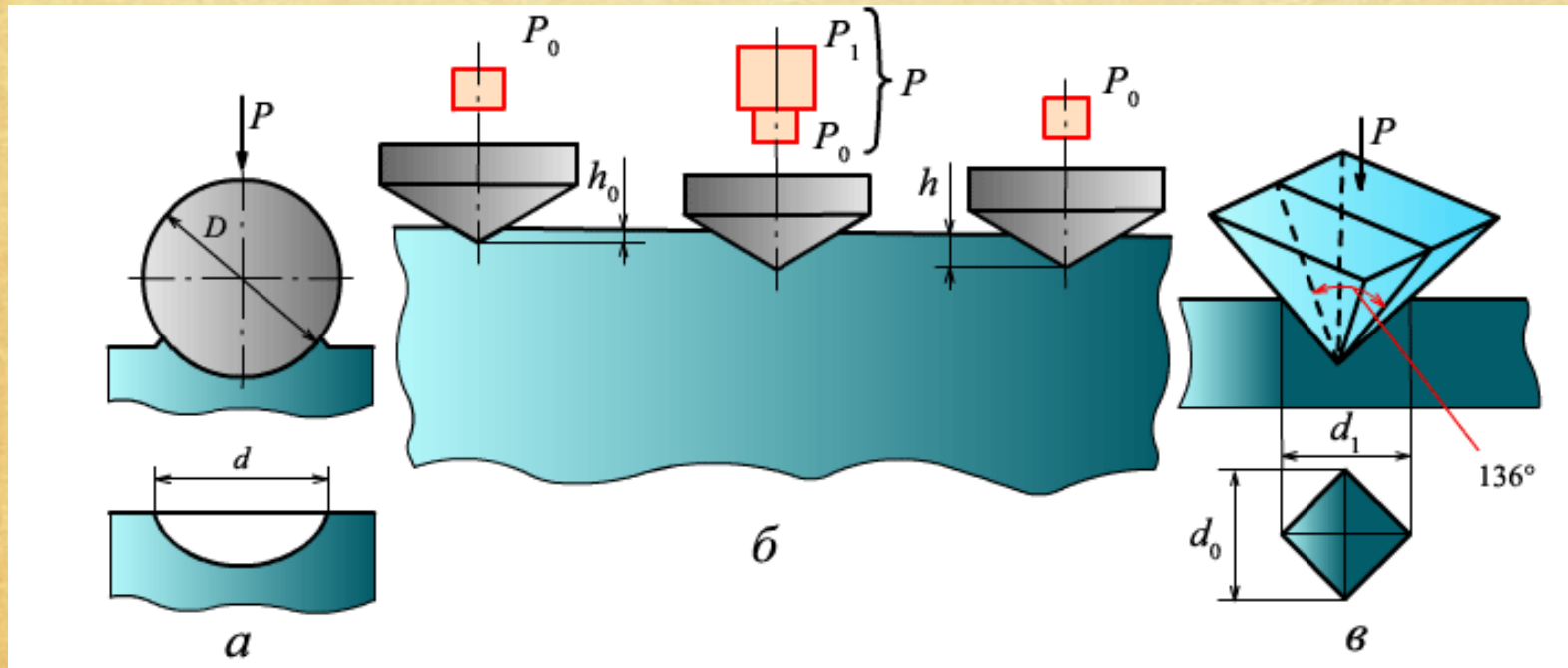
## Цель работы.

Оценка методов измерения нанотвердости материалов и анализ возможности и целесообразности их применения в качестве контроля качества для современных автомобильных деталей.

Твердость – это свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела (индентора).



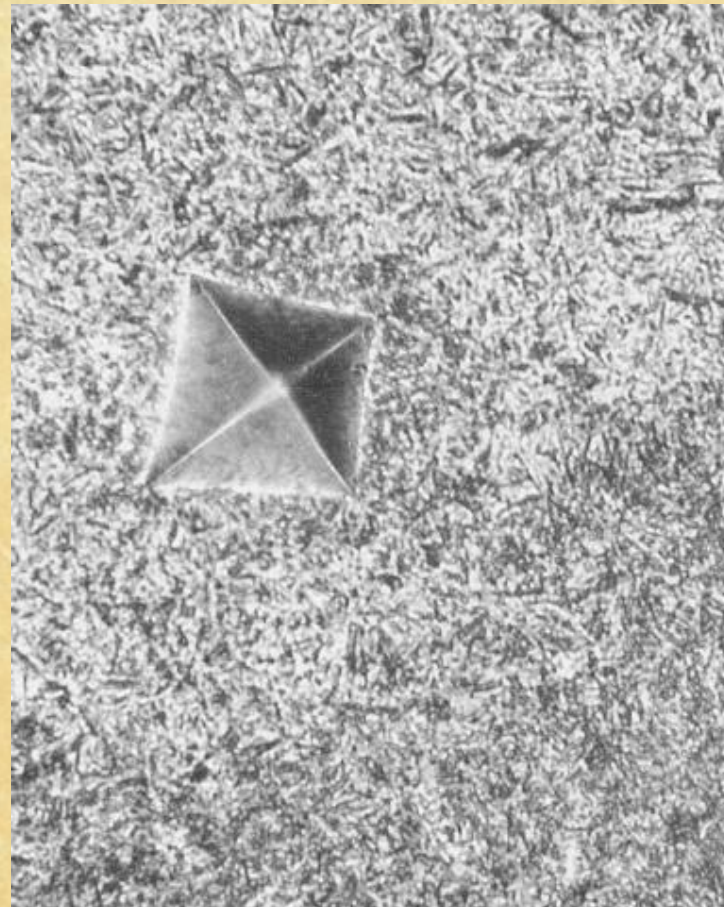
# Макротвердость



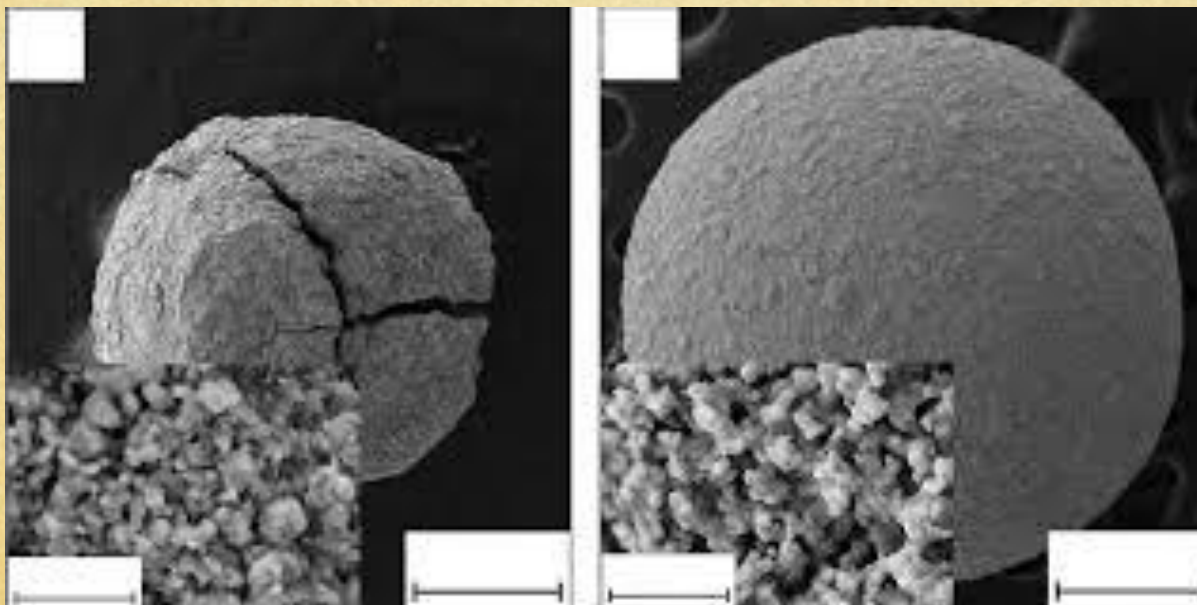
Среди способов измерения макротвердости (при нагрузке на индентор до 30 кН) наибольшее распространение получили методы определения твердости по **Бринеллю** и **Роквеллу**.

# Микротвердость

Микротвердость регламентирует нагрузку на индентор до 2 Н и глубину внедрения индентора от 0,2 мкм.



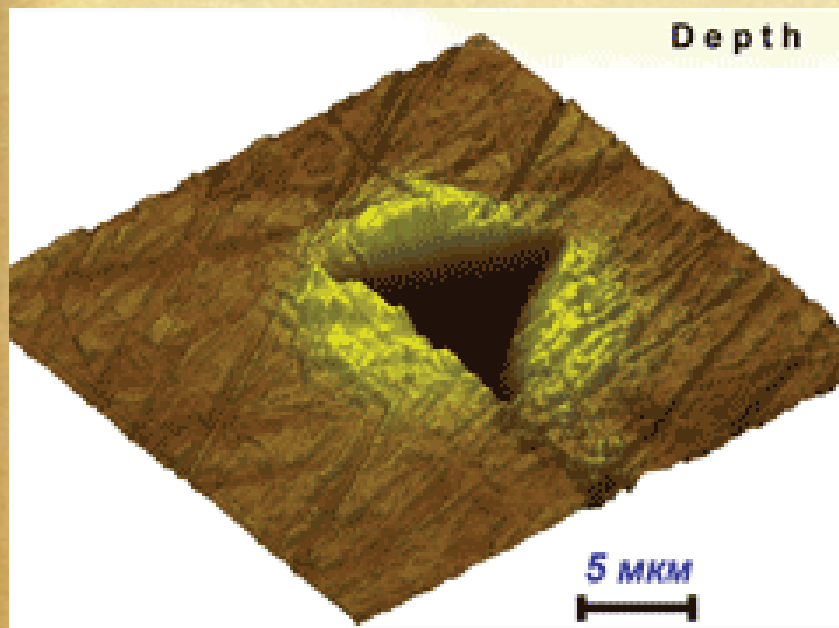
# Нанотвердость



***Нанотвердость*** (англ. nano hardness) — твердость наноразмерных объектов или отдельных наноразмерных элементов, входящих в состав нанокомпозита или наноструктурированного материала.

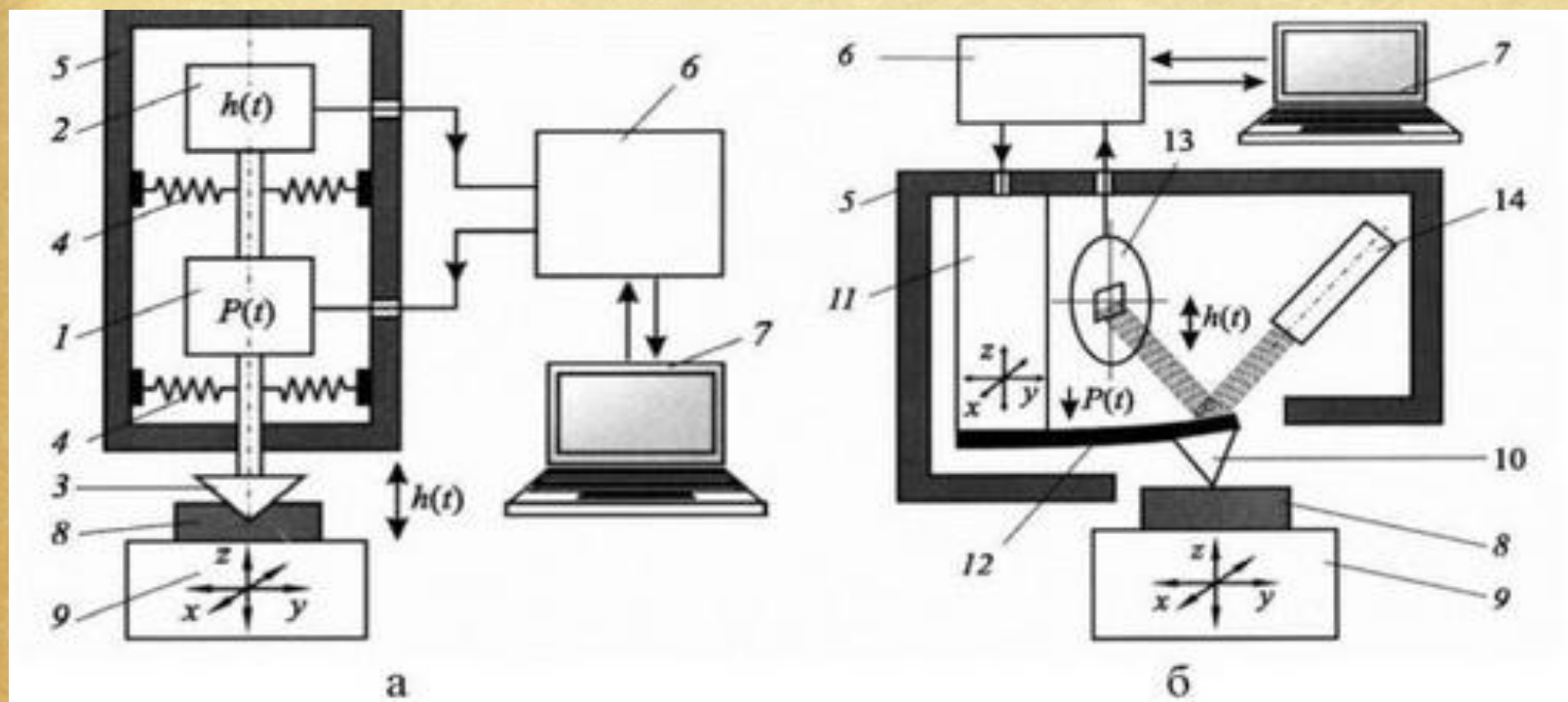
Требования к измерению нанотвердости регламентируются стандартом ISO 14577





Нанотвердость измеряется путем наноиндентирования при глубине индентирования, не превышающей 200 нм. Величина нанотвердости может значительно отличаться от микротвердости для одного и того же материала.

# Нанотвердомер



Блок-схема устройства наноиндентометра (а) и атомно-силового микроскопа (б)

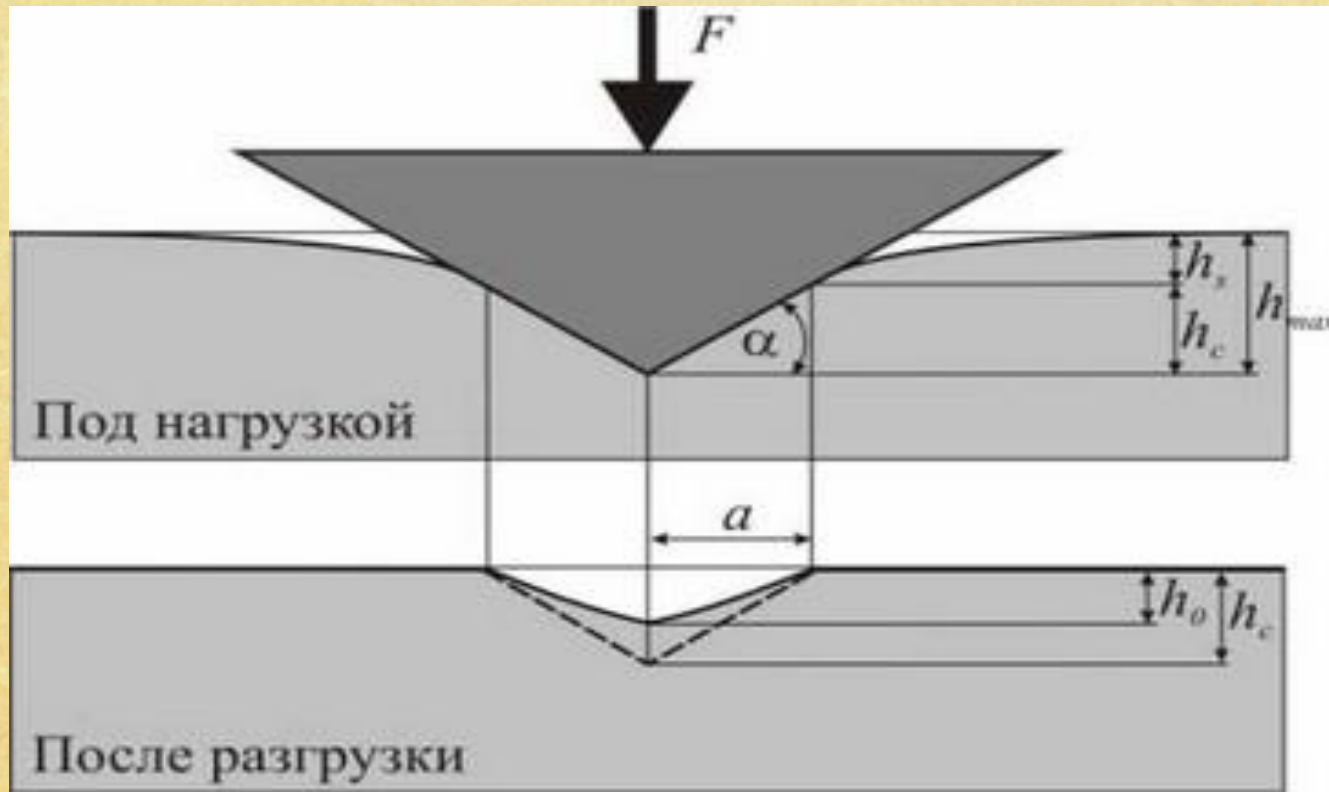


Фотография нанотвердомера NANO INDENTER 11  
(MTS Systems Inc., USA) (Институт сверхтвердых  
материалов имени В. М. Бакуля НАН Украины, г. Киев)

Наиболее распространенным методом измерения нанотвердости является **динамическое индентирование**, анализирующее зависимости нагрузки от глубины внедрения индентора.



Верхняя кривая соответствует нагружению и отражает **сопротивление материала** внедрению индентора, а нижняя описывает **возврат деформации** после снятия внешней нагрузки и характеризует упругие свойства материала.

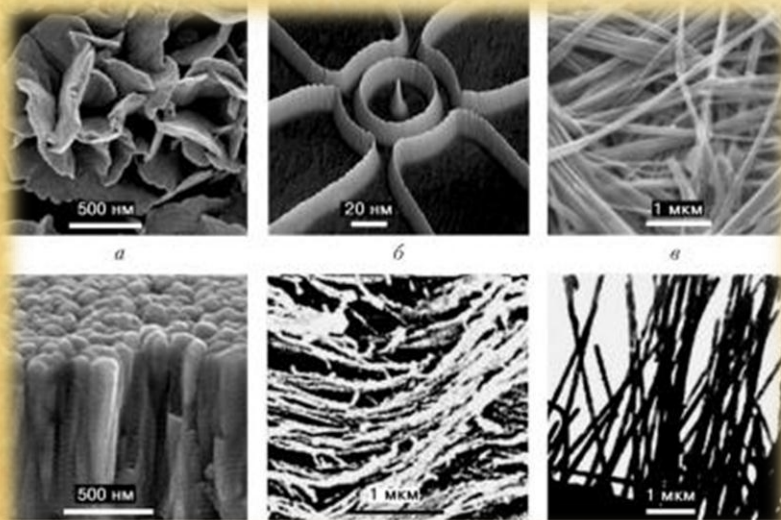


Основная сложность связана с нахождением **упругого прогиба** поверхности на краю контакта  $h_s$ .

Его нельзя измерить, можно только определить по методике Оливера и Фарра

## Достоинства

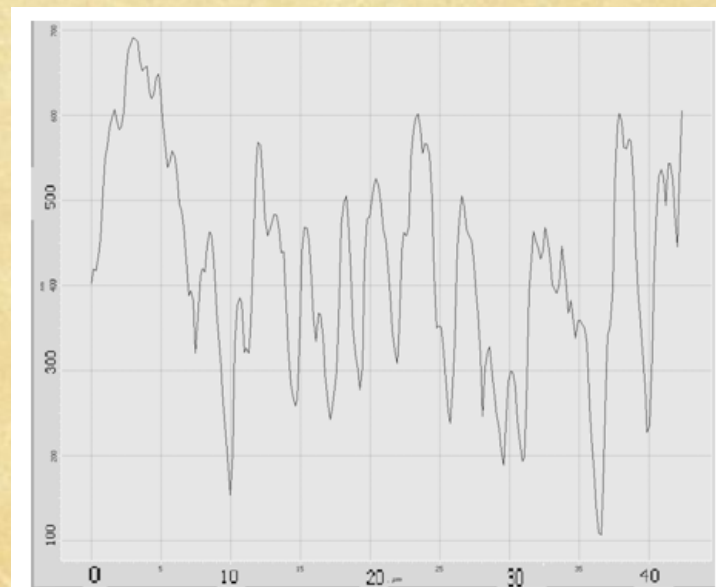
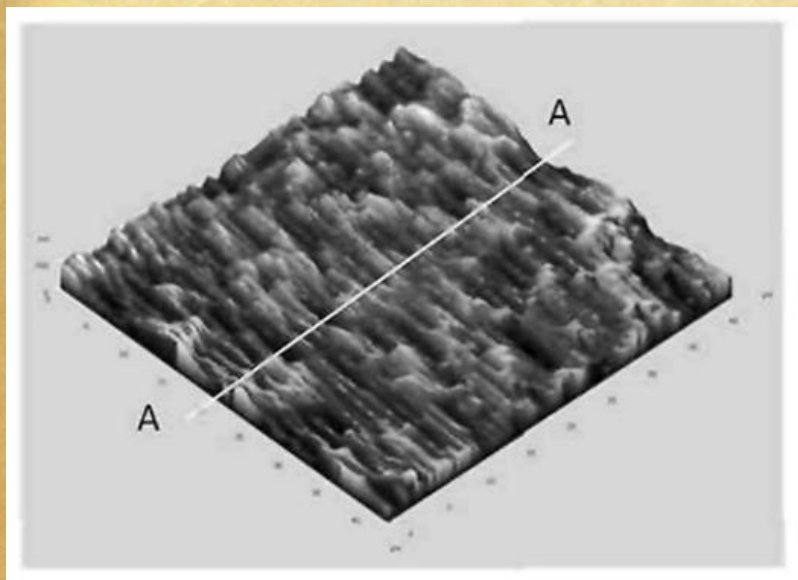
- ♦ Определение нанотвердости материала до начала упругого восстановления материала



## Недостатки

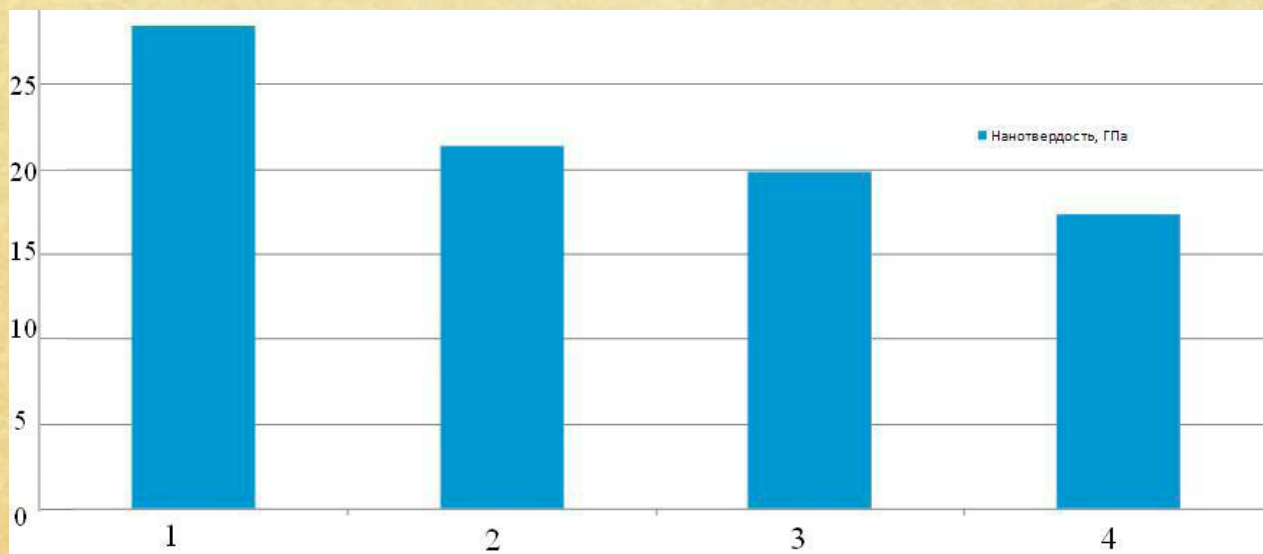
- ♦ Отсутствие учета пластических навалов, не позволяющих корректно рассчитать площадь контакта и значение нанотвердости

# Наноиндентирование монокристаллического вольфрама W



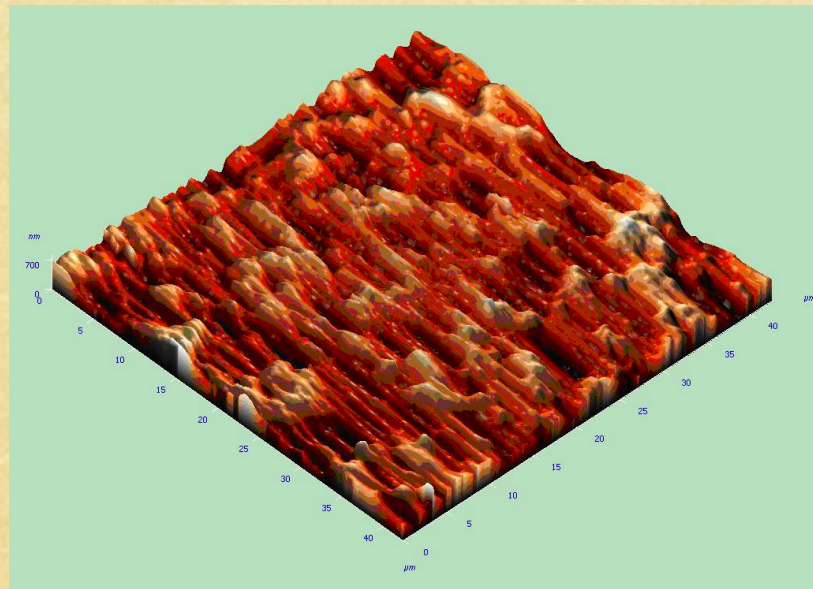
АСМ-изображения поверхности кристаллического вольфрама после электрохимической обработки (электрополирование):  
а – 3D изображение, б – профилограмма вдоль направления А-А (линии сканирования)

# Изменение нанотвердости поверхностного слоя в зависимости от вида обработки



- ♦ 1 - поверхность после резки **абразивным кругом**
- ♦ 2 - поверхность после резки **абразивным кругом** с последующим **электрополированием**
- ♦ 3 - поверхность после резки **абразивным кругом** и удаления поверхностного слоя толщиной 50-100 мкм **электрополированием**
- ♦ 4 - поверхность после резки **абразивным кругом**, **электрополирования** и **отжига** (900 °С 2 ч, вакуум)





После электрохимической обработки основное распределение высот рельефа поверхности монокристаллического W лежит в диапазоне (440-450) нм.

Значение нанотвердости составляет 20-22 ГПа и снижается после отжига до 17 ГПа.

Отжиг, как хорошо известно, стабилизирует структуру и снимает внутренние напряжения.

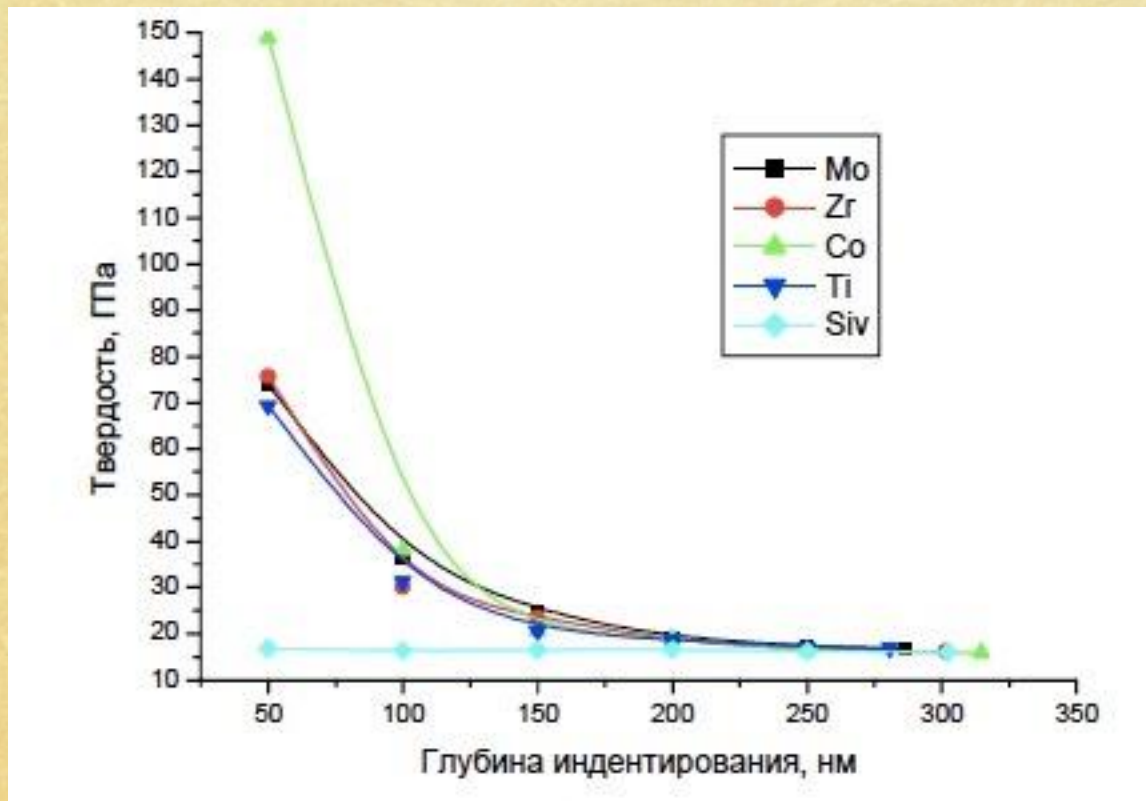
# НАНОТВЕРДОСТЬ КРЕМНИЯ С Ti, Co, Zr, Mo ПОКРЫТИЯМИ, ОСАЖДЕННЫМИ В УСЛОВИЯХ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ

Покрытие	H , ГПа	E , ГПа
Исходный	16,8±2,5	81,0±1,6
Mo	73,9±7,3	18,3±3,7
Zr	75,6±8,9	18,9±3,3
Co	149,6±5,5	21,3±2,7
Ti	69,3±2,6	16,4±2,7
Алмазо- подобное покрытие	47 –100	

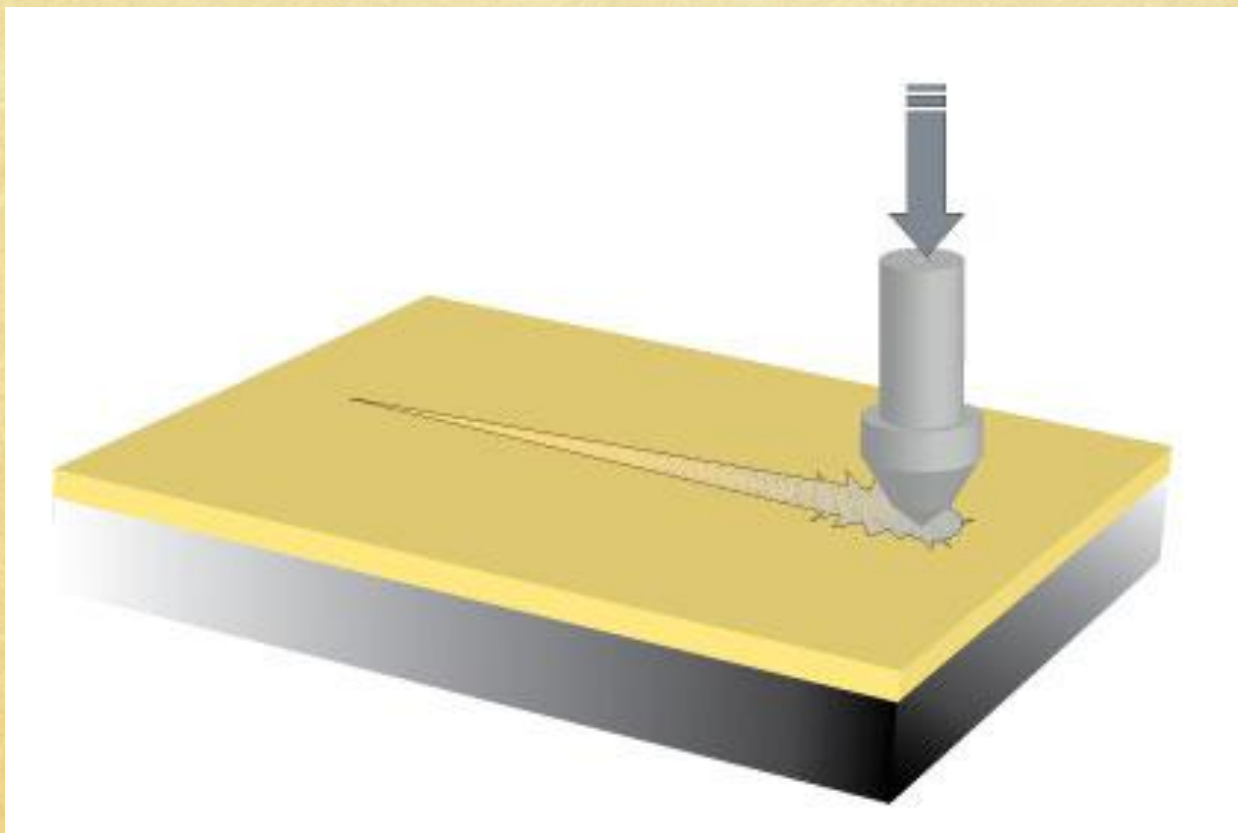
Нанотвердость и модуль Юнга в слое покрытий толщиной 50 нм

Нанотвердость непосредственно покрытий в тонких слоях толщиной до 50 нм в 4 – 9 раз выше чем твердость исходного кремния и сопоставима с твердостью алмазоподобных покрытий.

Наибольшая твердость получена при нанесении на кремний Co покрытий.



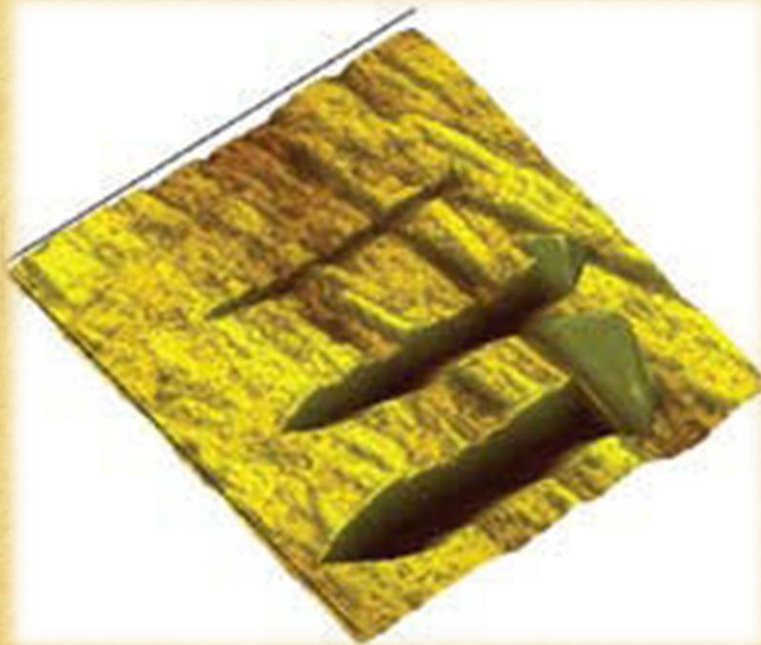
При увеличении глубины индентирования интегральная нанотвердость системы Me/Si приближается к нанотвердости исходного кремния.



Другим способом контроля нанотвердости является склерометрия – нанесение и анализ царапин

## Достоинства

- ♦ Меньшее влияние шероховатости поверхности



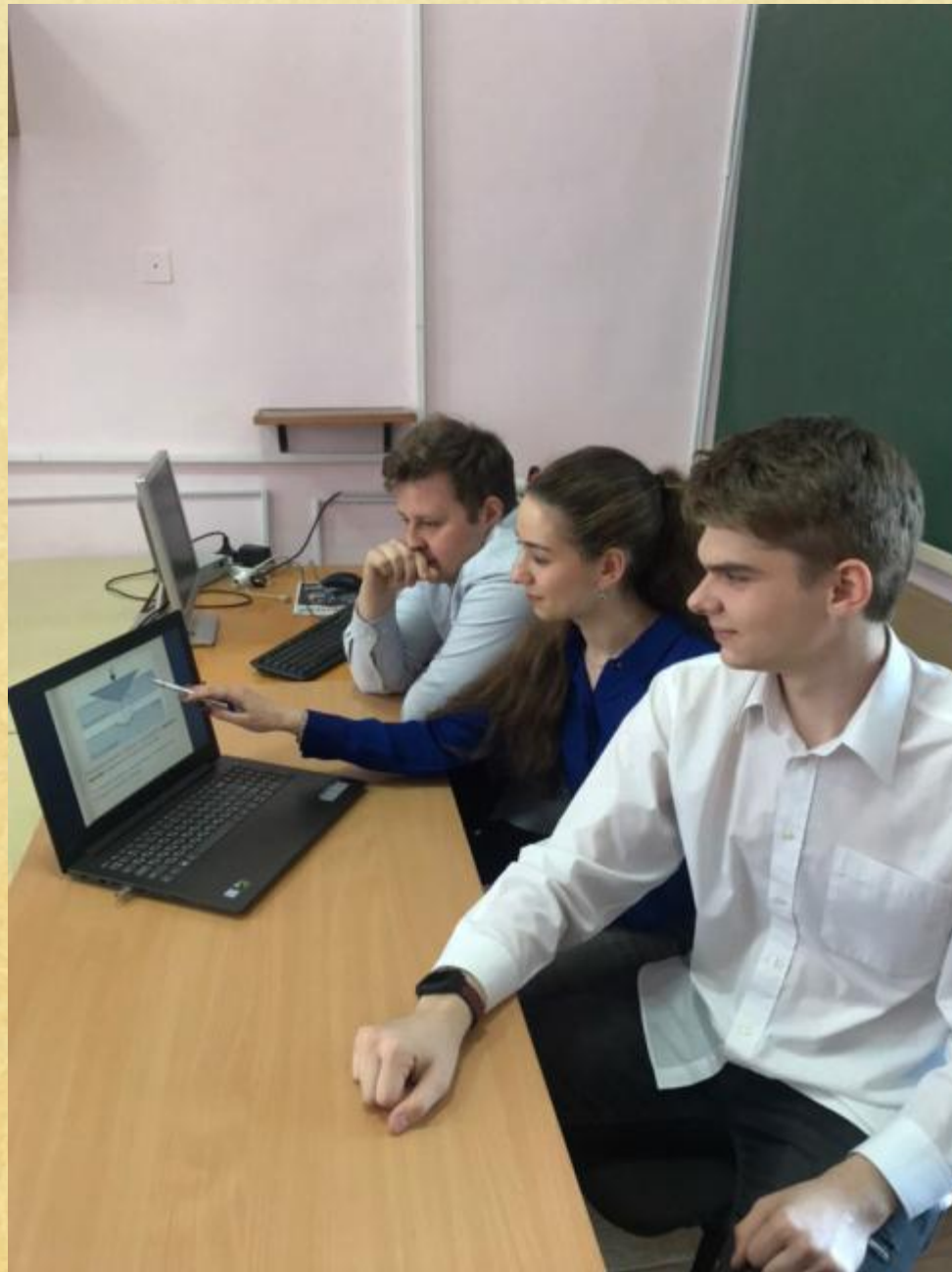
## Недостатки

- ♦ Отсутствие стандартов и методик выполнения измерений

# Выводы

*С развитием технологий наноиндентирования появилась возможность:*

- ♦ Устанавливать упругопластические характеристики материалов, не поддающихся пластическому деформированию (керамика, минеральные и металлические стекла, карбиды, нитриды, бориды металлов и т.д.)
- ♦ Определить коэффициент вязкости разрушения по размерам трещин вокруг отпечатка и величине силы вдавливания
- ♦ Моделировать процессы изнашивания и усталости в приповерхностных слоях
- ♦ Исследовать структуру многофазных материалов
- ♦ Определить толщину, степень адгезии и механические свойства тонких слоев и покрытий
- ♦ Оценить величину и распределение внутренних напряжений
- ♦ Отслеживать изменение твердости с изменением глубины погружения в образец





*Национальный центр аэрокосмического образования молодежи им.А.М.Макарова*



ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНОЇ  
ОСВІТИ МОЛОДІ ІМ. О.М. МАКАРОВА



ПІД ЕГУДОЮ МІЖНАРОДНОЇ ФЕДЕРАЦІЇ АСТРОНАВТИКИ

XXI МІЖНАРОДНА МОЛОДІЖНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

# ЛЮДИНА І КОСМОС



Дніпро  
2019



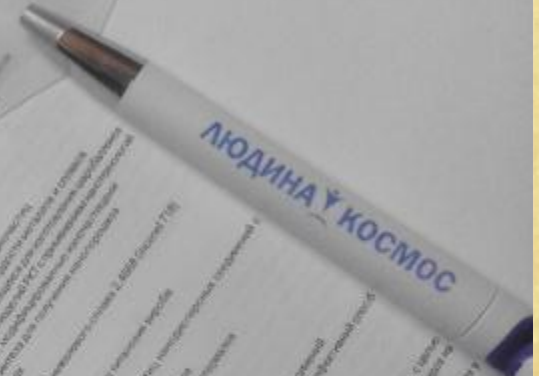
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНОЇ ОСВІТИ  
МОЛОДІ ім. О.М. Макарова

# ЦІПІЛІОМ

За найкращу доповідь

на **XXI** Міжнародній молодіжній науково-практичній конференції

# ПРОЩА І КИЇВ НАГОРОДЖУЄ



Величезні успіхи досягнуті в області аерокосмічної освіти молоді в Україні за останні роки. Це свідчить про те, що в Україні є всі необхідні умови для розвитку аерокосмічної освіти молоді. Успіхи досягнуті в області аерокосмічної освіти молоді в Україні за останні роки. Це свідчить про те, що в Україні є всі необхідні умови для розвитку аерокосмічної освіти молоді.

**19. Значення аерокосмічної освіти молоді в Україні**

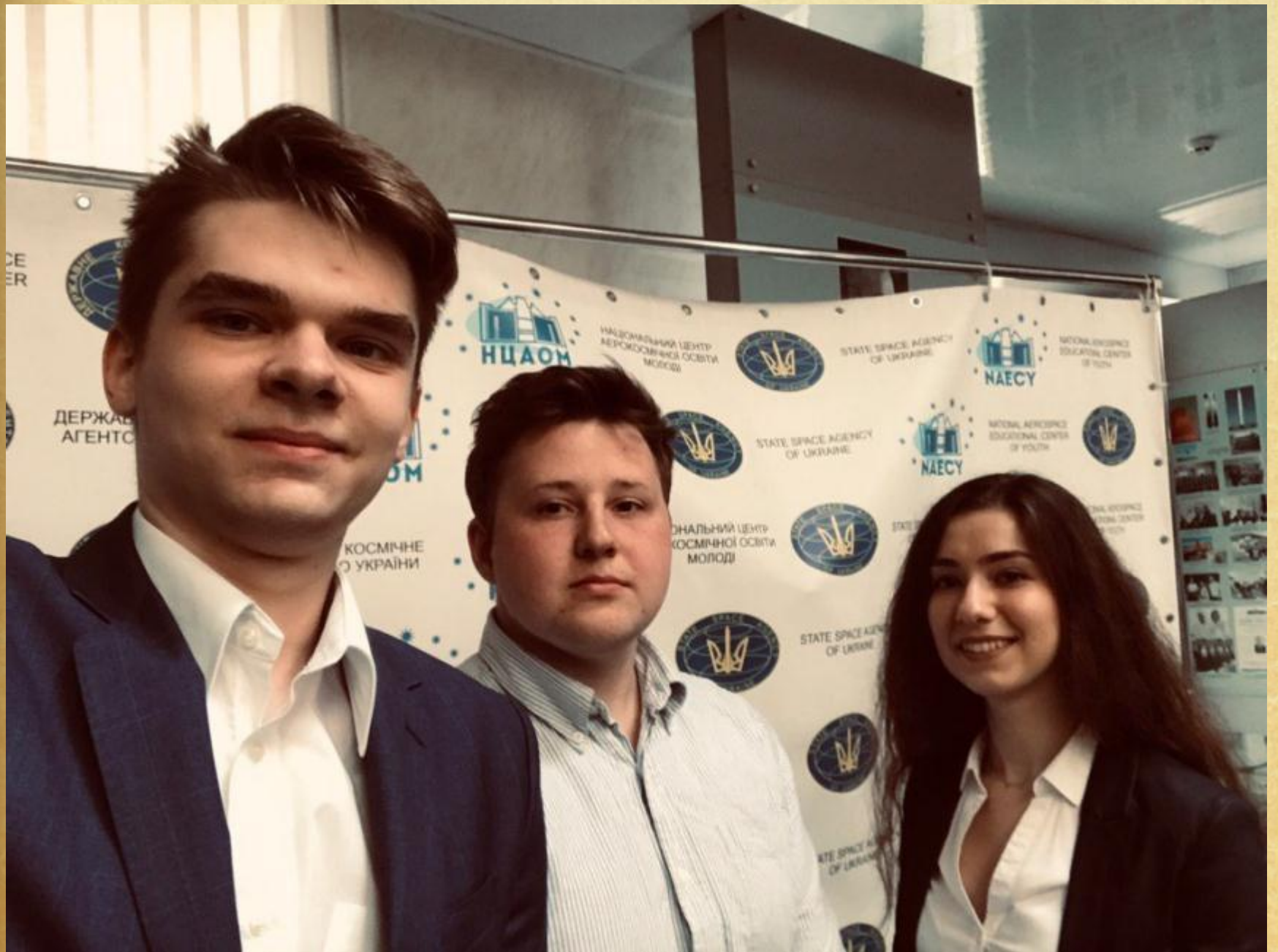
Аерокосмічна освіта молоді в Україні є важливою складовою частиною національної системи освіти. Вона готує фахівців, які будуть працювати в аерокосмічній галузі. Аерокосмічна освіта молоді в Україні є важливою складовою частиною національної системи освіти. Вона готує фахівців, які будуть працювати в аерокосмічній галузі.

**20. Інформаційні технології в аерокосмічній освіті**

Інформаційні технології є важливою складовою частиною аерокосмічної освіти молоді. Вони дозволяють студентам отримувати доступ до великої кількості інформації. Інформаційні технології є важливою складовою частиною аерокосмічної освіти молоді. Вони дозволяють студентам отримувати доступ до великої кількості інформації.

**21. Тренінги в аерокосмічній освіті**

Тренінги є важливою складовою частиною аерокосмічної освіти молоді. Вони дозволяють студентам отримувати практичний досвід. Тренінги є важливою складовою частиною аерокосмічної освіти молоді. Вони дозволяють студентам отримувати практичний досвід.



## Далекоглядність – мистецтво углядіти незриме

Джонатан Свіфт

На базі Національного центру аерокосмічної освіти молоді ім. О. М. Макарова під егідою Міжнародної федерації астронавтики 10...12.04.2019 р. відбулася XXI Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос» **That's one small step for man, one giant leap for mankind** Neil Alden Armstrong (до 50-річчя висадки людини на Місяць).

На секції «Нанотехнології і наноматеріали в РКТ» кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» представляли студенти групи 274-17-1 Гаркавенко Дмитро, Сташевська Іланіт і Черкашин Михайло.

Під керівництвом доцента кафедри автомобілів та автомобільного господарства Валентини Олішевської було представлено роботу «Сучасні методи дослідження нанотвердості металів і сплавів». Робота виконана відповідно до учбової програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт.

За результатами роботи студенти отримали сертифікати і Диплом за найкращу доповідь на XXI Міжнародній молодіжній науково-практичній конференції «Людина і космос».

Нашим студентам бажаю творчого натхнення та успіхів в підкоренні нових професійних висот.

Валентина Олішевська

**Спасибо за внимание!**