



«Новые методы определения твёрдости материалов»

Лабораторная работа №20

Lab_20_metod_opr_tverd_3MC_LNA_26_02_2016

2016

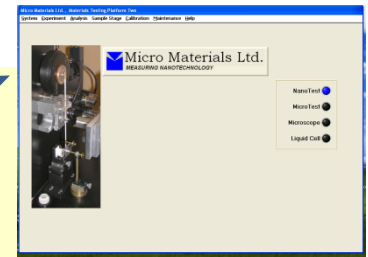
Лабораторная работа №19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАНОТВЁРДОСТИ ПИРАМИДОЙ БЕРКОВИЧА

Цель работы – изучить программу «Nano Test Materials Testing Platform», определить поверхностную нанотвёрдость пирамидой Берковича.

Приборы и материалы:

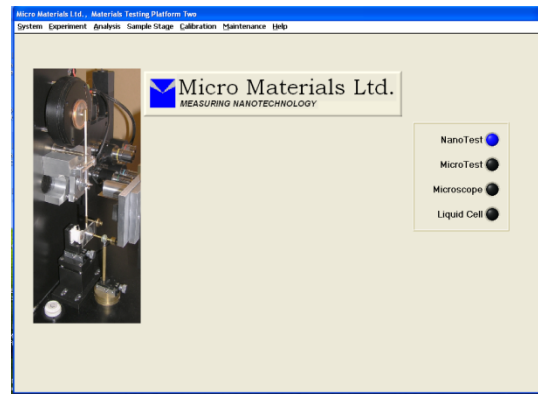
1. Программа «Nano Test Materials Testing Platform».
2. Эталоны твёрдости: 103HBW, 187HBW, 411HBW.
3. Пирамида Берковича.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Программное обеспечение «Nano Test Materials Testing Platform» установлено на приборе Nano Test английской компании Micro.Materials.Ltd. Программа позволяет выбирать условия испытаний, измерять глубину внедрения индентора и нагрузку,

рассчитывать ряд показателей свойств материалов. Для оценки нанотвёрдости использована методика Оливера и Фарра.



Результаты исследований могут быть представлены в виде кривой индентирования и в виде таблиц с цифровыми значениями нагрузки и глубины внедрения индентора.

Цифровые значения результатов индентирования могут быть использованы для определения нанотвёрдости не только по методике Оливера и Фарра, но и поверхностной, объёмной.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ТВЁРДОСТЬ

Для метода **восстановленного отпечатка** поверхностная твёрдость вычисляется как отношение нагрузки к площади боковой поверхности отпечатка.

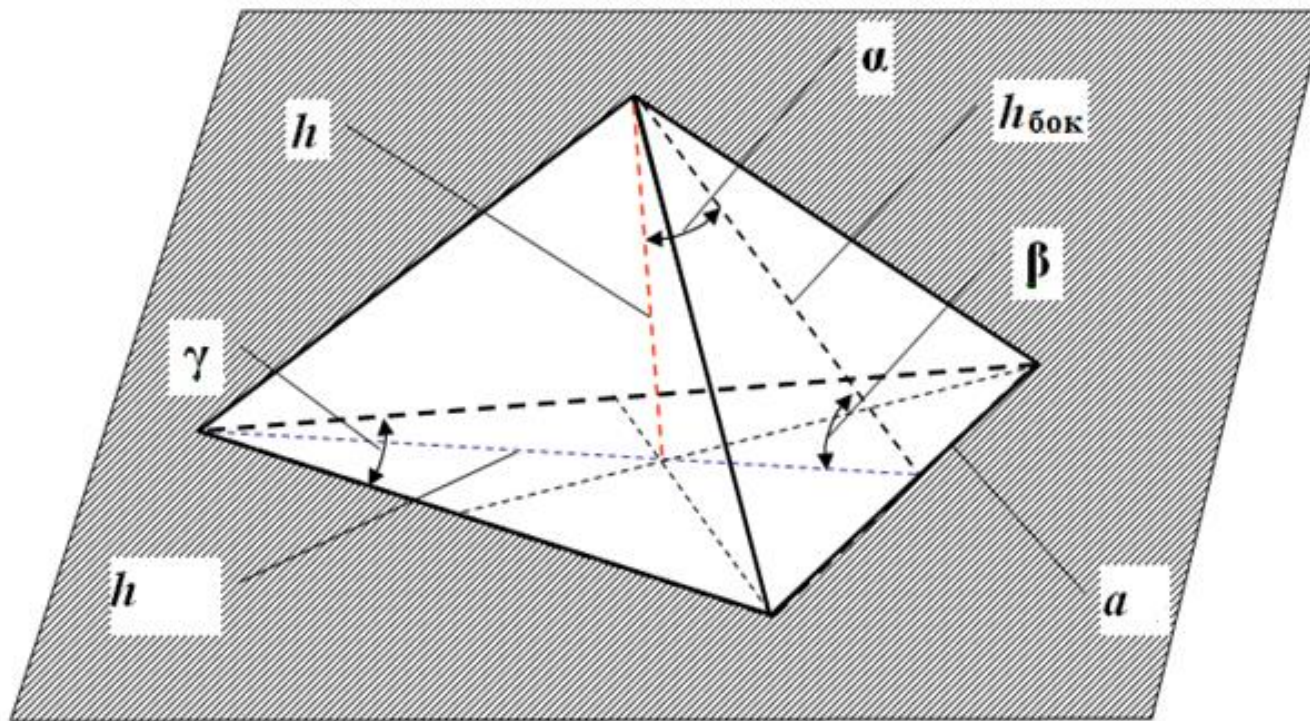
Для метода **невосстановленного отпечатка** или кинетической твердости определение поверхностной твердости

Поверхностная твёрдость

– это отношение нагрузки на индентор к площади боковой поверхности внедренной в материал его части.

Определение поверхностной нанотвёрдости по методу невосстановленного отпечатка не требует проведения сложных графоаналитических расчётов, так как твёрдость определяется по глубине внедрения индентора, которая измеряется прибором.

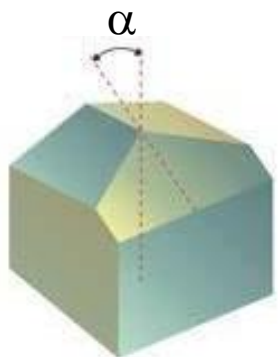
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЁРДОСТИ ПИРАМИДОЙ БЕРКОВИЧА ПО МЕТОДУ НЕВОССТАНОВЛЕННОГО ОТПЕЧАТКА



$$HB_{ПОВ}^{ИНД} = \frac{F}{S_{\sigma.ПОВ.}^{ИНД.}}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЁРДОСТИ ПИРАМИДОЙ БЕРКОВИЧА ($\alpha=65,27$)

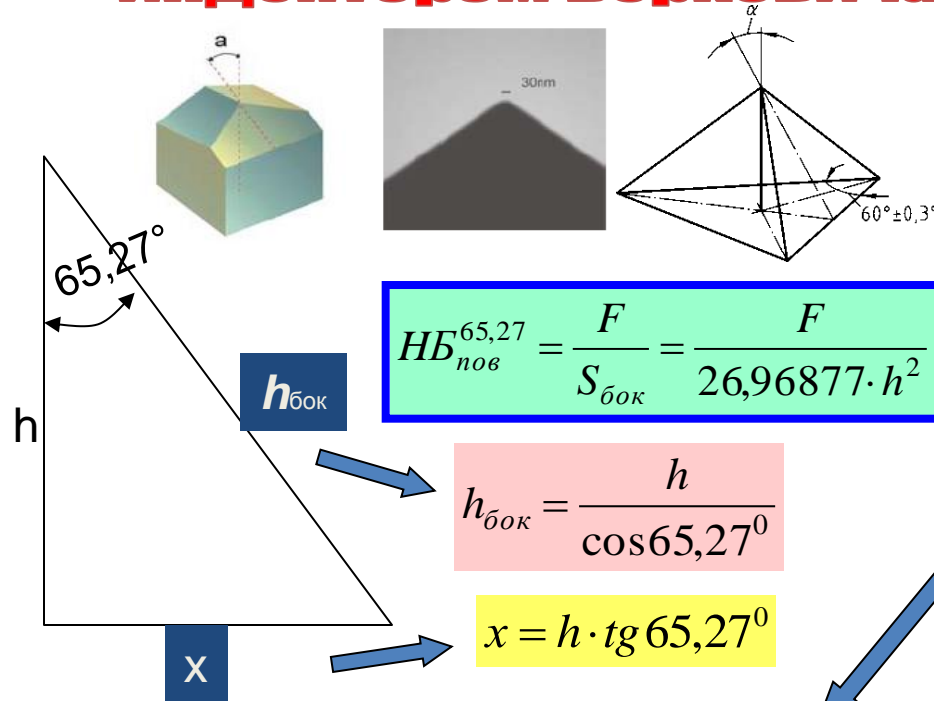
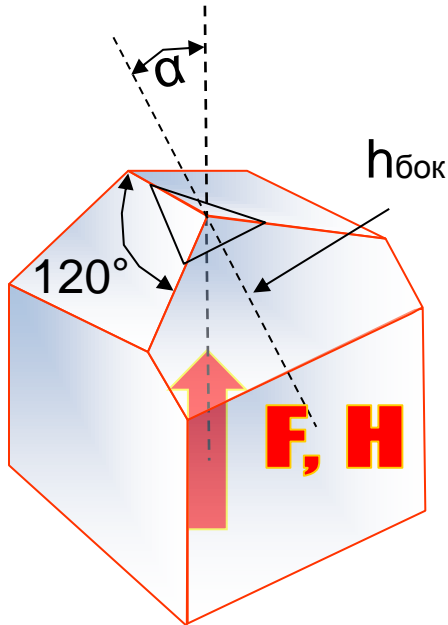
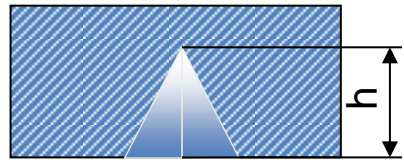
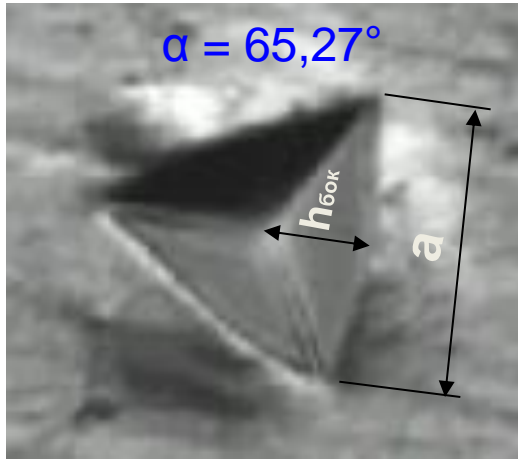
Поверхностная твердость по методу невосстановленного отпечатка, измеренная модифицированной пирамидой Берковича, будет равна



$$\begin{aligned}
 HB_{\text{ПОВ}}^{\text{ИНД}} &= \frac{F}{S_{\text{б.ПОВА}}^{\text{ИНД.}}} = \frac{F \cos \alpha}{3h_{\text{ИНД}}^2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta} = \\
 &= \frac{F \cos 65,27^\circ}{3h_{\text{ИНД}}^2 \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ} = \frac{F}{26,969h_{\text{ИНД}}^2},
 \end{aligned}$$

где F – нагрузка на индентор, $S_{\text{б.ПОВА}}^{\text{ИНД.}}$ – площадь боковой поверхности внедренной в материал части индентора, мм^2 ; $h_{\text{ИНД}}$ – глубина внедрения индентора в исследуемый материал, мм ; $\alpha = 65,27^\circ$ – угол между высотой и апофемой пирамиды; $\beta = 60^\circ$ – угол между сторонами основания пирамиды.

Расчетная схема для определения поверхностной твердости индентором Берковича 3 ($\alpha=65,27^\circ$)



$$HB_{нов}^{65,27} = \frac{F}{S_{бок}} = \frac{F}{26,96877 \cdot h^2}$$

$$h_{бок} = \frac{h}{\cos 65,27^\circ}$$

$$x = h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ$$

$$a = 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$a = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

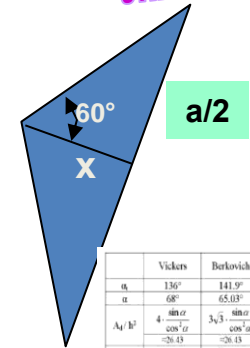
$$P_{осн} = 3a = 3 \cdot 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$S_{бок} = \frac{1}{2} P_{осн} \cdot h_{бок} = \frac{1 \cdot 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \cdot h}{2 \cdot \cos 65,27^\circ} = \frac{3h^2 \operatorname{tg} 65,27^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ}{\cos 65,27^\circ} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot 2,1711 \cdot 1,732}{0,4183} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot 3,76}{0,4183} = \frac{h^2 \cdot 11,281}{0,4183} = 26,96877 \cdot h^2$$

$S_{бок}$ = площадь · боковой поверхности · пирамиды

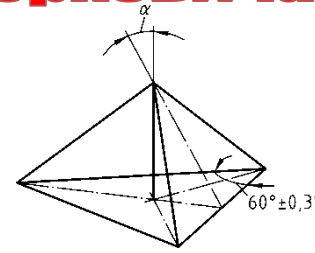
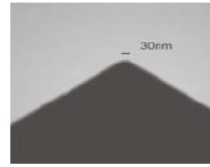
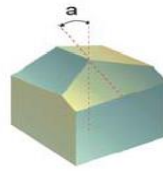
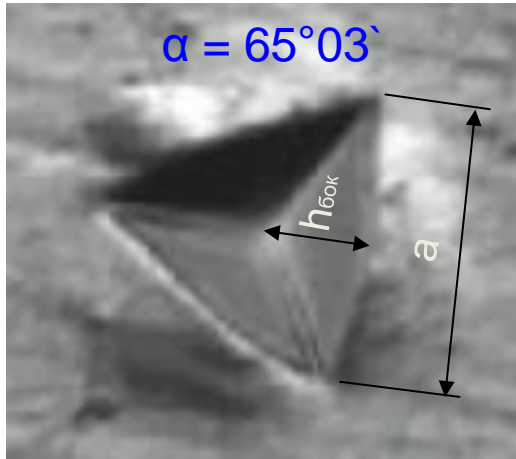
$P_{осн}$ = периметр – основания

Метод невозстановленного отпечатка



	Vickers	Berkovich	M. Berkovich	Cube Corner
α	136°	$141,9^\circ$	$142,3^\circ$	90°
α	68°	$65,03^\circ$	$65,27^\circ$	$35,264^\circ$
A_1/h^2	$4 \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha}$	$3\sqrt{3} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha}$	$3\sqrt{3} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha}$	$9/2$
	$\approx 30,43$	$\approx 26,43$	$\approx 26,87$	$\approx 4,5$
A_2/h^2	$4 \cdot \frac{\tan^2 \alpha}{\sin \alpha}$	$3\sqrt{3} \cdot \frac{\tan^2 \alpha}{\sin \alpha}$	$3\sqrt{3} \cdot \frac{\tan^2 \alpha}{\sin \alpha}$	$3\sqrt{3}/2$
	$\approx 24,551$	$\approx 23,96$	$\approx 24,404$	$\approx 2,598$
A_1/A_2	$1/\sin \alpha$	$1/\sin \alpha$	$1/\sin \alpha$	$1/\sin \alpha = 3/\sqrt{3}$
	$\approx 1,8765$	$\approx 1,1031$	$\approx 1,1010$	$\approx 1,7320$

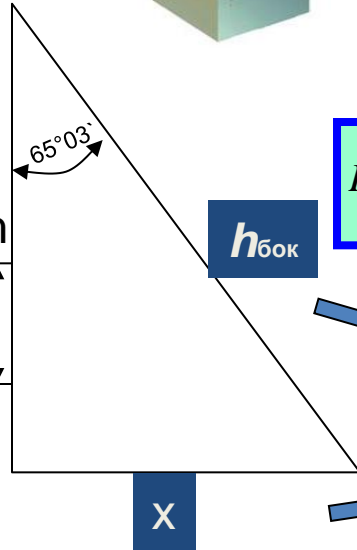
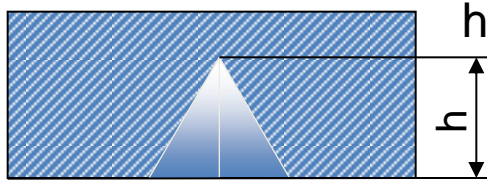
Расчетная схема для определения поверхностной твердости индентором Берковича 2 ($\alpha=65,03$)



$S_{бок}$ = площадь боковой поверхности пирамиды

$P_{осн}$ = периметр основания

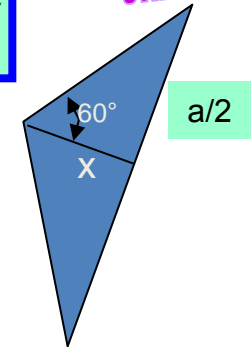
Метод невозстановленного отпечатка



$$HB_{нов}^{65,03} = \frac{P}{S_{бок}} = \frac{P}{26,4342 \cdot h^2}, H / мм^2$$

$$h_{бок} = \frac{h}{\cos 65^{\circ}03}$$

$$x = h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03$$

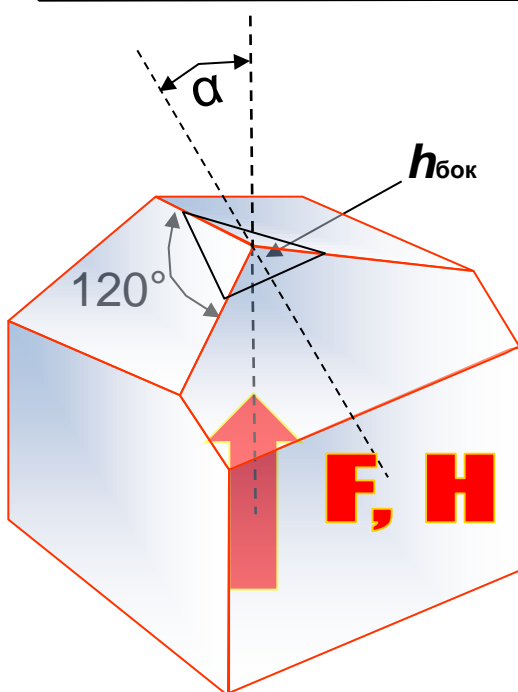


$$a = 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ} = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ} = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ}$$

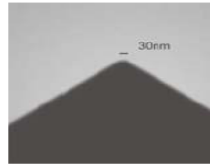
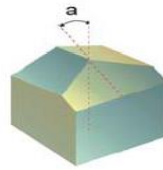
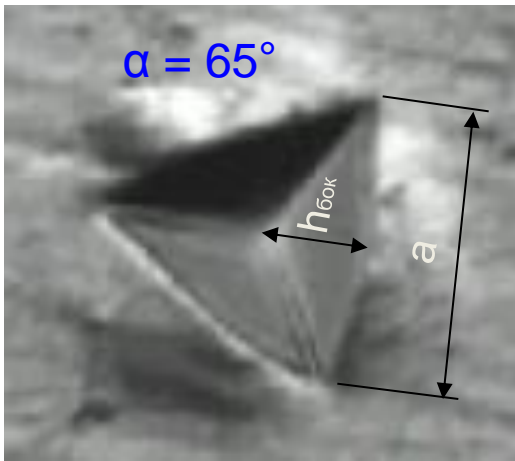
$$a = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ}$$

$$P_{осн} = 3a = 3 \cdot 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ} = 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ}$$

$$S_{бок} = \frac{1}{2} P_{осн} \cdot h_{бок} = \frac{1 \cdot 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ} \cdot h}{2 \cdot \cos 65^{\circ}03} = \frac{3h^2 \operatorname{tg} 65^{\circ}03 \cdot \operatorname{tg} 60^{\circ}}{\cos 65^{\circ}03} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot 2,1474 \cdot 1,732}{0,4221} = 26,4342 \cdot h^2$$



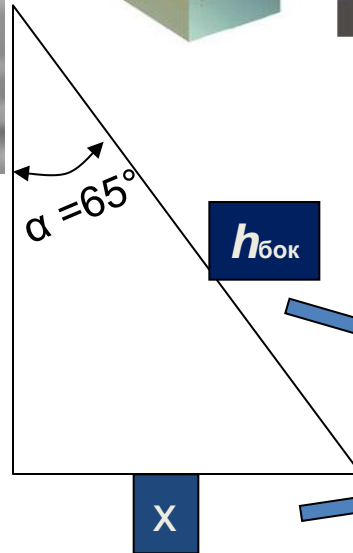
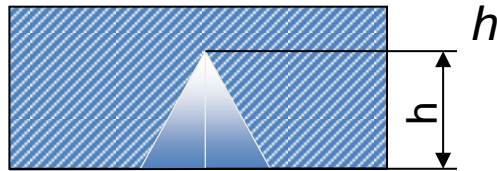
Расчетная схема для определения поверхностной твердости индентором Берковича 1 ($\alpha=65^\circ$)



$S_{бок}$ = площадь · боковой
поверхности · пирамиды

$P_{осн}$ = периметр
основания

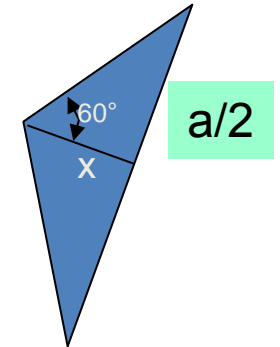
Метод невозстановленного
отпечатка



$$HB = \frac{P}{S_{бок}} = \frac{P}{26,3673 \cdot h^2}$$

$$h_{бок} = \frac{h}{\cos 65^\circ}$$

$$x = h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ$$

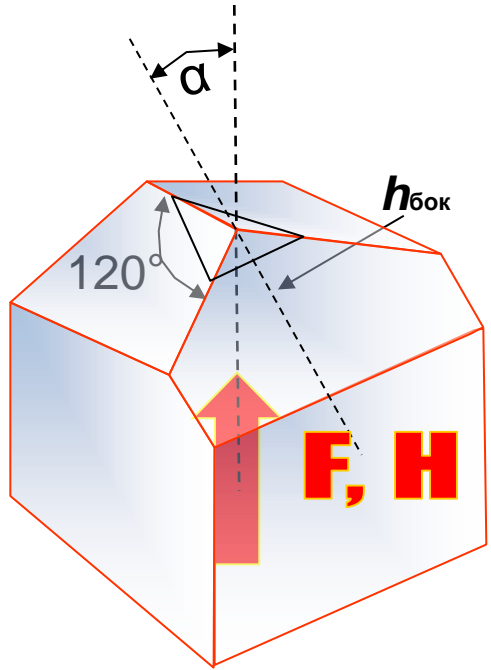


$$a = 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$a = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$P_{осн} = 3a = 3 \cdot 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$S_{бок} = \frac{1}{2} P_{осн} \cdot h_{бок} = \frac{1 \cdot 6 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \cdot h}{2 \cdot \cos 65^\circ} = \frac{3h^2 \operatorname{tg} 65^\circ \cdot \operatorname{tg} 60^\circ}{\cos 65^\circ} = \frac{3 \cdot h^2 \cdot 2,1445 \cdot 1,732}{0,4226} = 26,3673 \cdot h^2$$



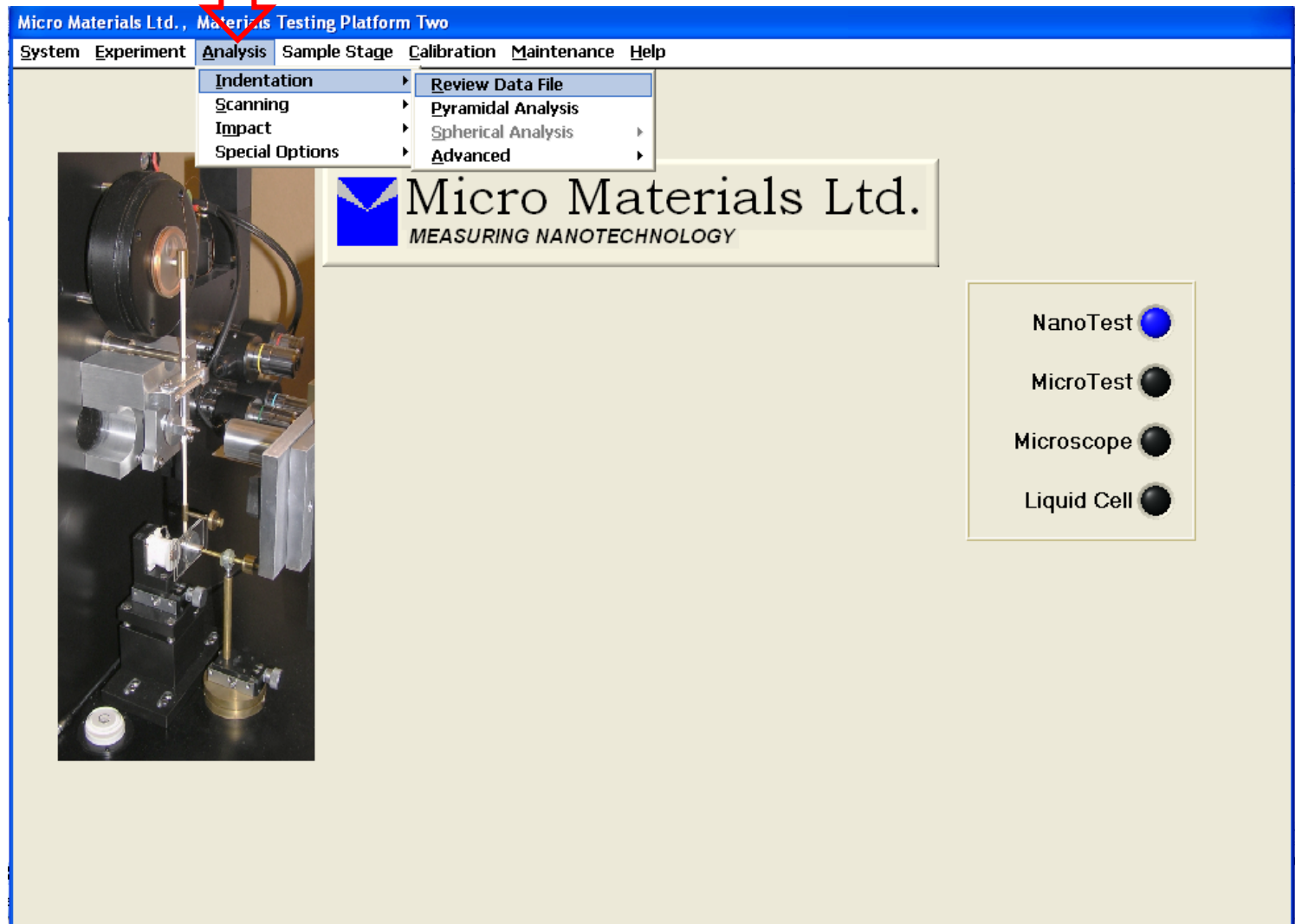
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На основании исходных данных и программы «Nano Test Materials Testing Platform» получить диаграмму индентирования и характеристики свойств материала по методике Оливера и Фарра в следующем порядке:



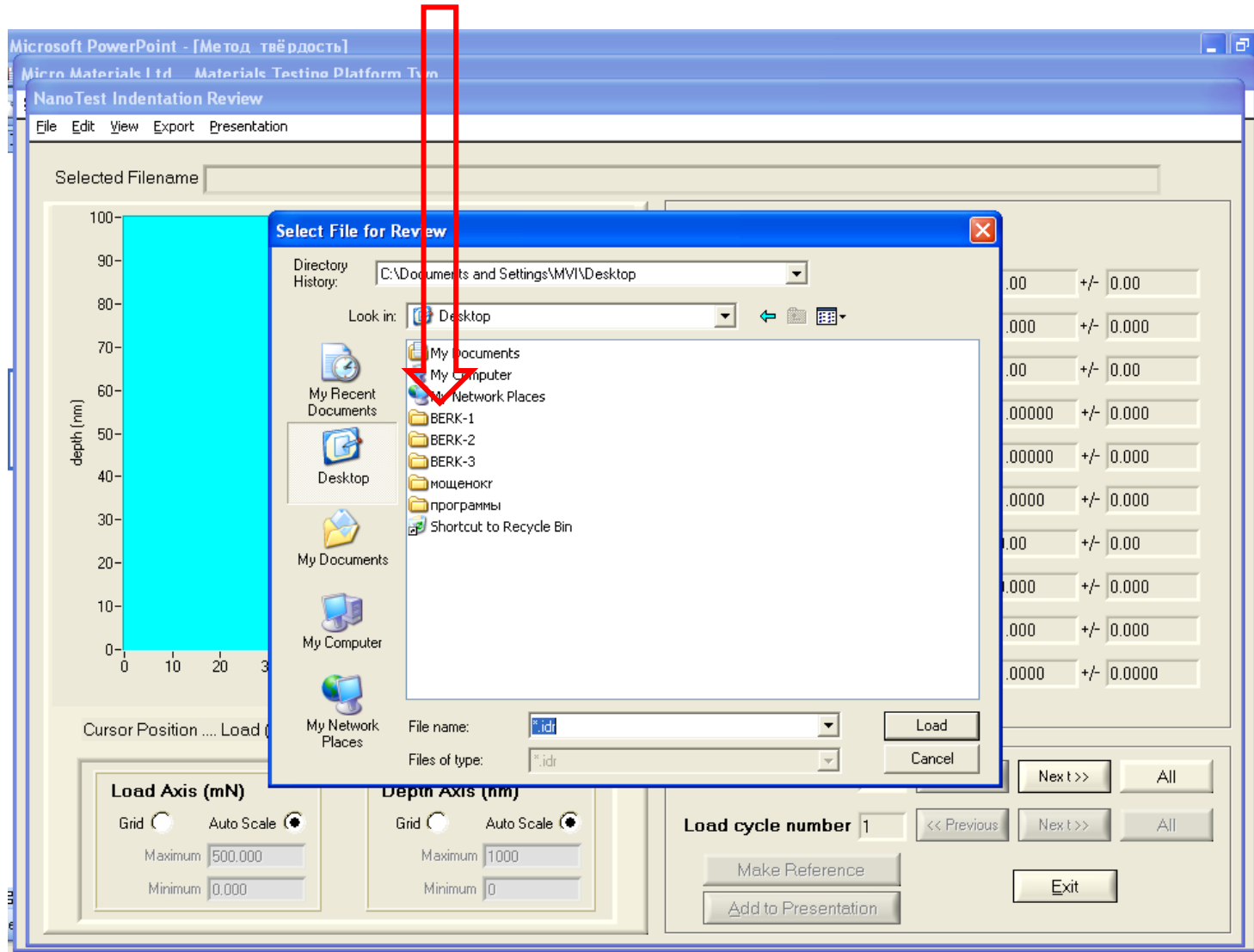
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

а) выбрать опцию «Индентирование» и выбор файла.



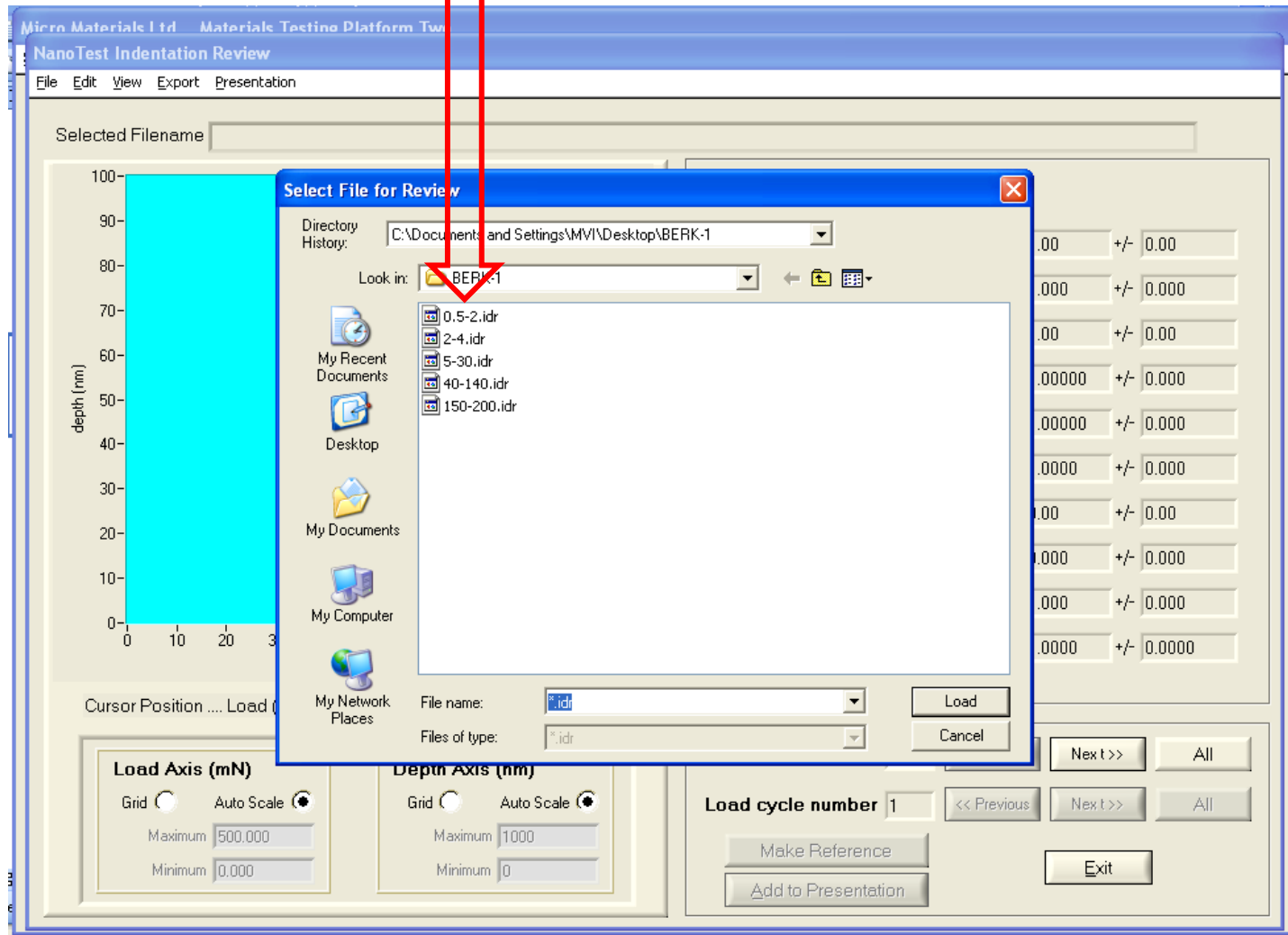
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

б) выбрать номер образца из папки.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

в) выбрать интервал нагрузок.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

г) установить точку отсчёта нагрузки и глубины внедрения индентора в ноль. На экране представлена диаграмма индентирования и характеристики свойств материала, которые получены по методике Оливера и Фарра.

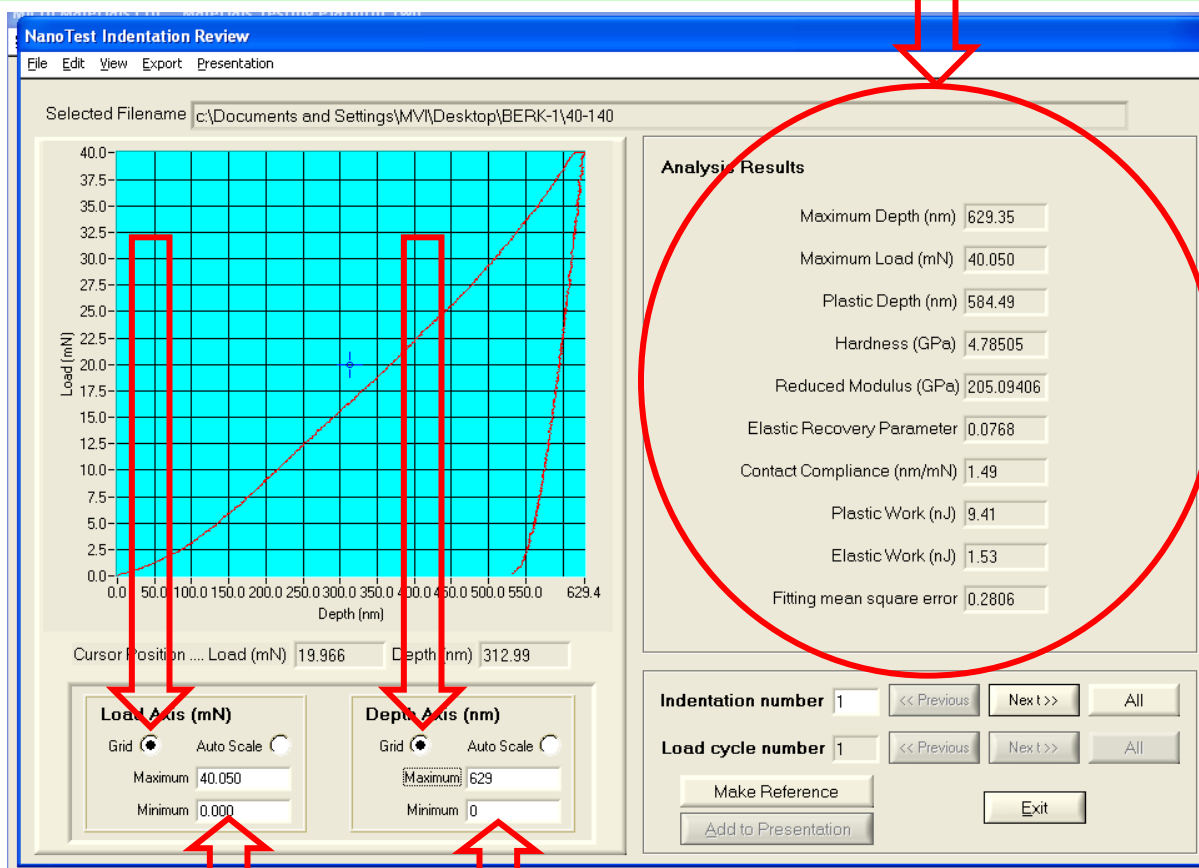
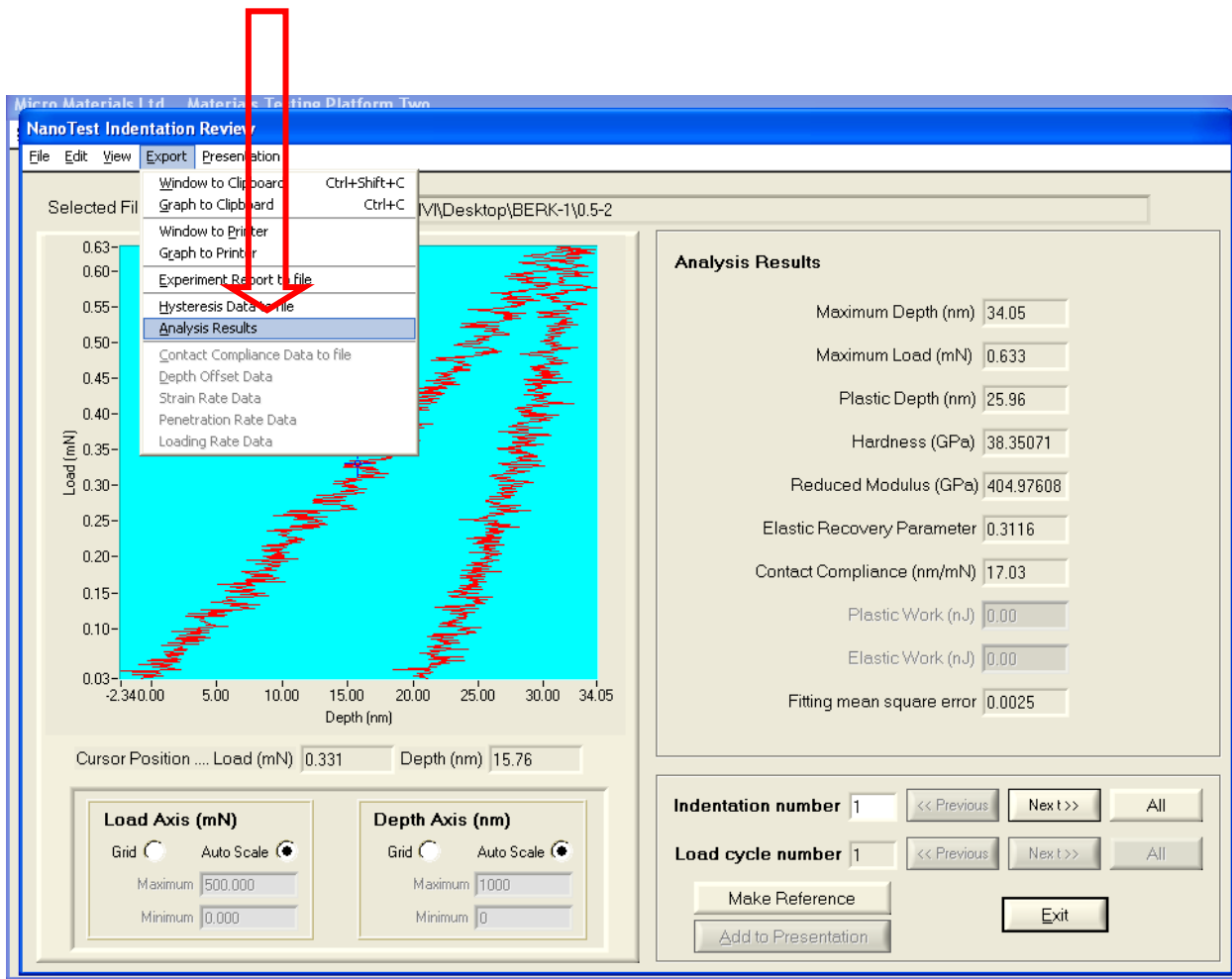


Диаграмма индентирования Berk_1_05_2

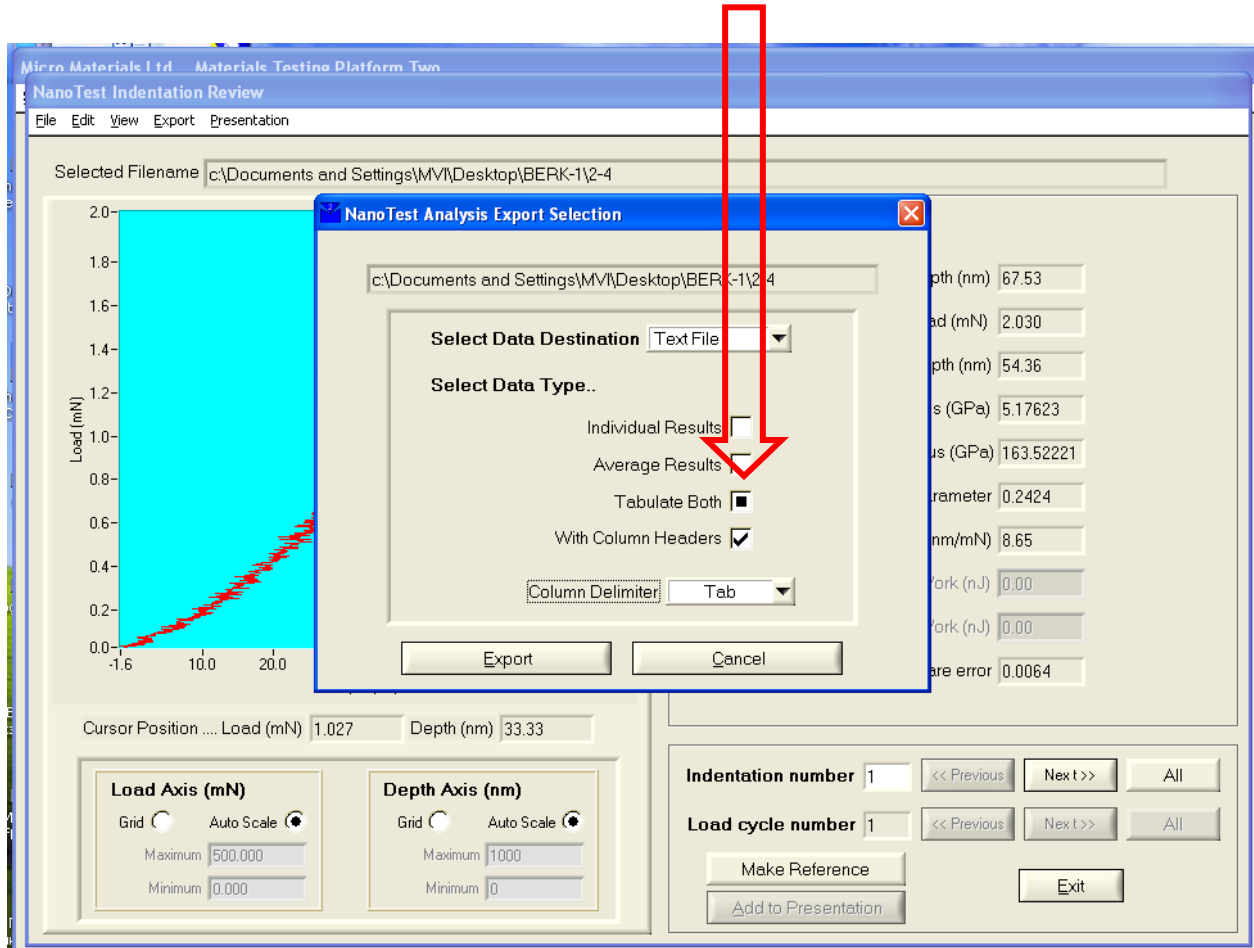
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

д) экспортировать характеристики свойств материала, которые получены по методике Оливера и Фарра, в цифровом виде для всех кривых индентирования. Для этого выбрать опцию «Analysis Results».



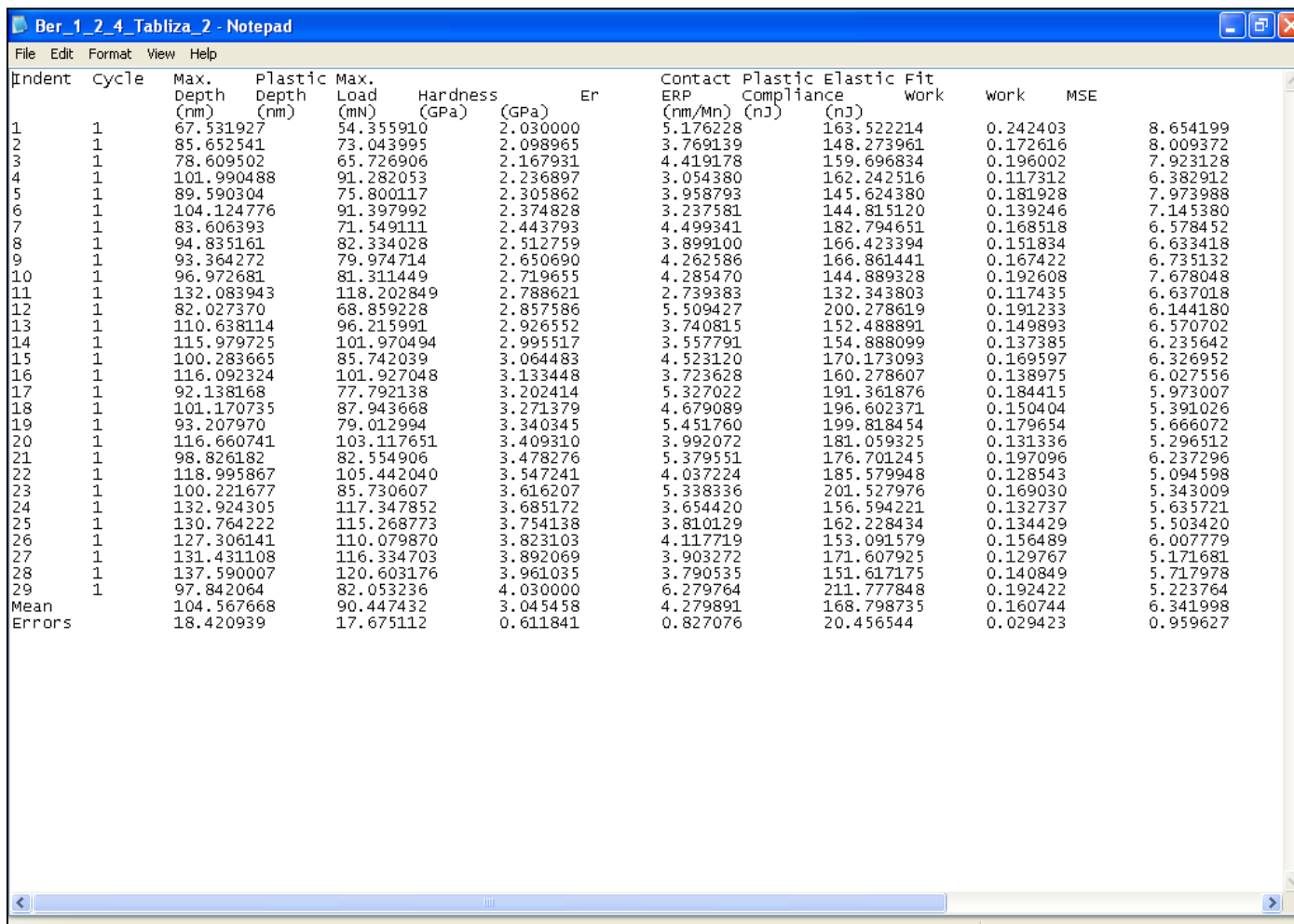
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

е) выбрать значения характеристик в виде таблицы (Tabulate Both) с подписями названий колонок (With Column Headers) для всех кривых индентирования в числовом формате.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ж) характеристики свойств материала, которые получены по методике Оливера и Фарра, в числовом формате.



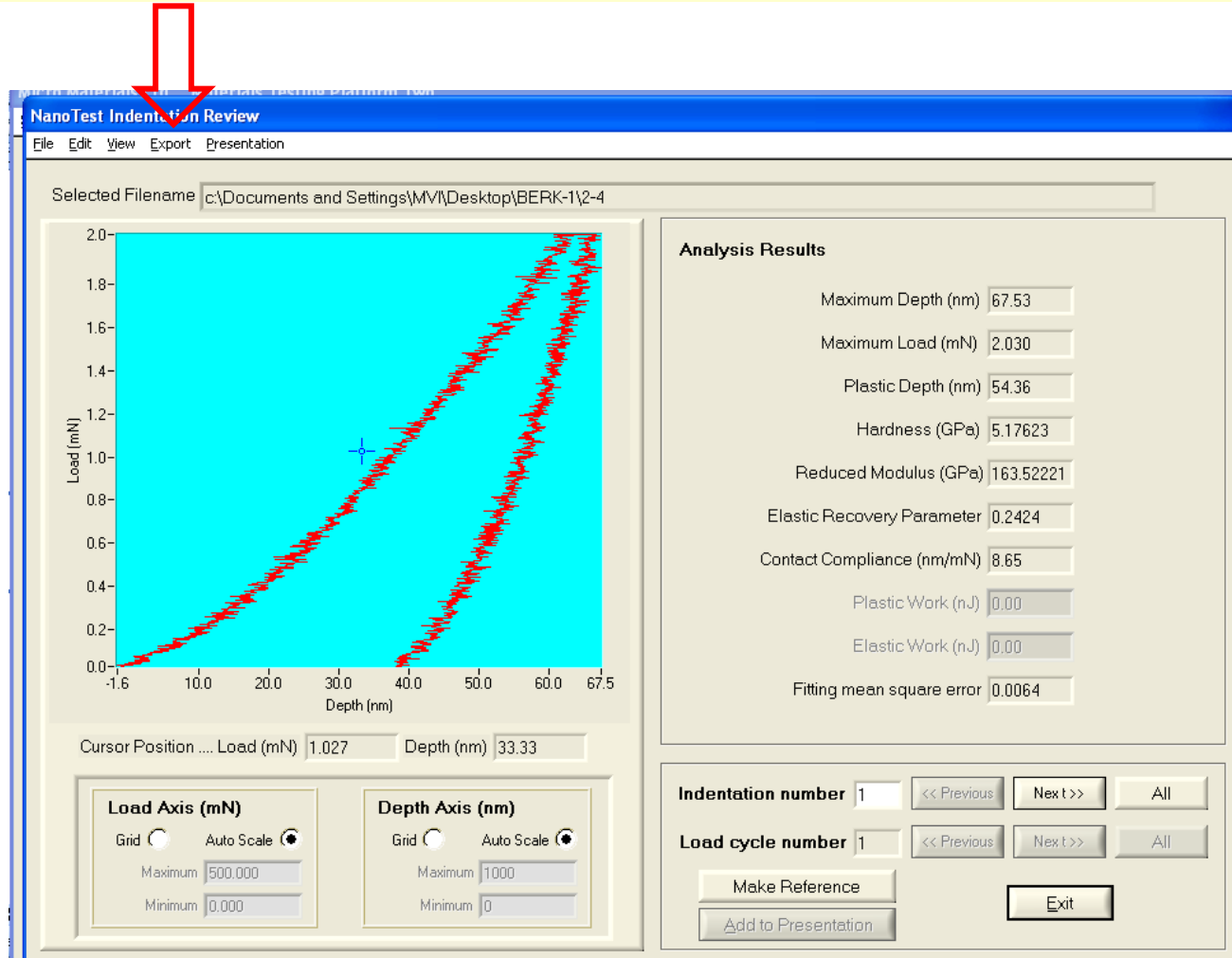
The image shows a Notepad window titled "Ber_1_2_4_Tablica_2 - Notepad" containing a table of material properties. The table has 13 columns: Indent, cycle, Max. Depth (nm), Plastic Depth (nm), Max. Load (mN), Hardness (GPa), Er (GPa), Contact ERP (nm/Mn), Plastic Compliance (nJ), Elastic Fit work (nJ), work, and MSE. The data is organized into 29 rows, with the last two rows labeled "Mean" and "Errors".

Indent	cycle	Max. Depth (nm)	Plastic Depth (nm)	Max. Load (mN)	Hardness (GPa)	Er (GPa)	Contact ERP (nm/Mn)	Plastic Compliance (nJ)	Elastic Fit work (nJ)	work	MSE
1	1	67.531927	54.355910	73.043995	2.030000	5.176228	163.522214	0.242403	8.654199		
2	1	85.652541	73.043995	2.098965	3.769139	148.273961	0.172616	8.009372			
3	1	78.609502	65.726906	2.167931	4.419178	159.696834	0.196002	7.923128			
4	1	101.990488	91.282053	2.236897	3.054380	162.242516	0.117312	6.382912			
5	1	89.590304	75.800117	2.305862	3.958793	145.624380	0.181928	7.973988			
6	1	104.124776	91.397992	2.374828	3.237581	144.815120	0.139246	7.145380			
7	1	83.606393	71.549111	2.443793	4.499341	182.794651	0.168518	6.578452			
8	1	94.835161	82.334028	2.512759	3.899100	166.423394	0.151834	6.633418			
9	1	93.364272	79.974714	2.650690	4.262586	166.861441	0.167422	6.735132			
10	1	96.972681	81.311449	2.719655	4.285470	144.889328	0.192608	7.678048			
11	1	132.083943	118.202849	2.788621	2.739383	132.343803	0.117435	6.637018			
12	1	82.027370	68.859228	2.857586	5.509427	200.278619	0.191233	6.144180			
13	1	110.638114	96.215991	2.926552	3.740815	152.488891	0.149893	6.570702			
14	1	115.979725	101.970494	2.995517	3.557791	154.888099	0.137385	6.235642			
15	1	100.283665	85.742039	3.064483	4.523120	170.173093	0.169597	6.326952			
16	1	116.092324	101.927048	3.133448	3.723628	160.278607	0.138975	6.027556			
17	1	92.138168	77.792138	3.202414	5.327022	191.361876	0.184415	5.973007			
18	1	101.170735	87.943668	3.271379	4.679089	196.602371	0.150404	5.391026			
19	1	93.207970	79.012994	3.340345	5.451760	199.818454	0.179654	5.666072			
20	1	116.660741	103.117651	3.409310	3.992072	181.059325	0.131336	5.296512			
21	1	98.826182	82.554906	3.478276	5.379551	176.701245	0.197096	6.237296			
22	1	118.995867	105.442040	3.547241	4.037224	185.579948	0.128543	5.094598			
23	1	100.221677	85.730607	3.616207	5.338336	201.527976	0.169030	5.343009			
24	1	132.924305	117.347852	3.685172	3.654420	156.594221	0.132737	5.635721			
25	1	130.764222	115.268773	3.754138	3.810129	162.228434	0.134429	5.503420			
26	1	127.306141	110.079870	3.823103	4.117719	153.091579	0.156489	6.007779			
27	1	131.431108	116.334703	3.892069	3.903272	171.607925	0.129767	5.171681			
28	1	137.590007	120.603176	3.961035	3.790535	151.617175	0.140849	5.717978			
29	1	97.842064	82.053236	4.030000	6.279764	211.777848	0.192422	5.223764			
Mean		104.567668	90.447432	3.045458	4.279891	168.798735	0.160744	6.341998			
Errors		18.420939	17.675112	0.611841	0.827076	20.456544	0.029423	0.959627			

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2. Получить диаграмму индентирования в цифровом виде из программы «Nano Test Materials Testing Platform» в следующем порядке:

а) выбрать опцию «Export» из программы.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

б) выбрать опцию (представить данные гистерезиса)

Hysteresis Data to file

The screenshot displays the NanoTest Indentation Review software interface. The main window shows a hysteresis loop graph with Load (mN) on the y-axis (0.1 to 40.1) and Depth (nm) on the x-axis (-1 to 629). A red arrow points to the 'Hysteresis Data to file' option in the 'Export' menu. The 'Analysis Results' panel on the right contains the following data:

Parameter	Value
Maximum Depth (nm)	629.35
Maximum Load (mN)	40.050
Plastic Depth (nm)	584.49
Hardness (GPa)	4.78505
Reduced Modulus (GPa)	205.09406
Elastic Recovery Parameter	0.0768
Contact Compliance (nm/mN)	1.49
Plastic Work (nJ)	9.41
Elastic Work (nJ)	1.53
Fitting mean square error	0.2806

At the bottom, there are controls for the Load Axis (mN) and Depth Axis (nm), including grid and auto scale options, and buttons for 'Indentation number', 'Load cycle number', 'Make Reference', 'Add to Presentation', and 'Exit'.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

в) выбрать не все кривые индентирования для данного образца и интервала нагрузки

The screenshot displays the NanoTest Indentation Review software interface. The main window shows a graph of Load (mN) versus Depth (nm) with a red curve. A dialog box titled "NanoTest Data Export Type Definition" is open, allowing the user to select the export type. The dialog box contains the following fields and options:

- Data File...:** c:\Documents and Settings\MVI\Desktop\BERK-1\40-140
- contains:** 29 Indentations with 1 Cycles
- Select Export Type:** All Indentations/Cycles
- Buttons:** Continue, Cancel

The "Analysis Results" section on the right side of the main window displays the following data:

Maximum Depth (nm)	629.35
Maximum Load (mN)	40.050
Maximum Depth (nm)	584.49
Maximum Load (mN)	4.78505
Maximum Load (GPa)	205.09406
Maximum Load (GPa)	0.0768
Maximum Load (mN)	1.49
Maximum Load (kJ)	9.41
Maximum Load (kJ)	1.53
Maximum Load (kJ)	0.2806

The "Load Axis (mN)" section shows the following settings:

- Grid:
- Auto Scale:
- Maximum: 500.000
- Minimum: 0.000

The "Depth Axis (nm)" section shows the following settings:

- Grid:
- Auto Scale:
- Maximum: 1000
- Minimum: 0

The "Indentation number" and "Load cycle number" sections show the following settings:

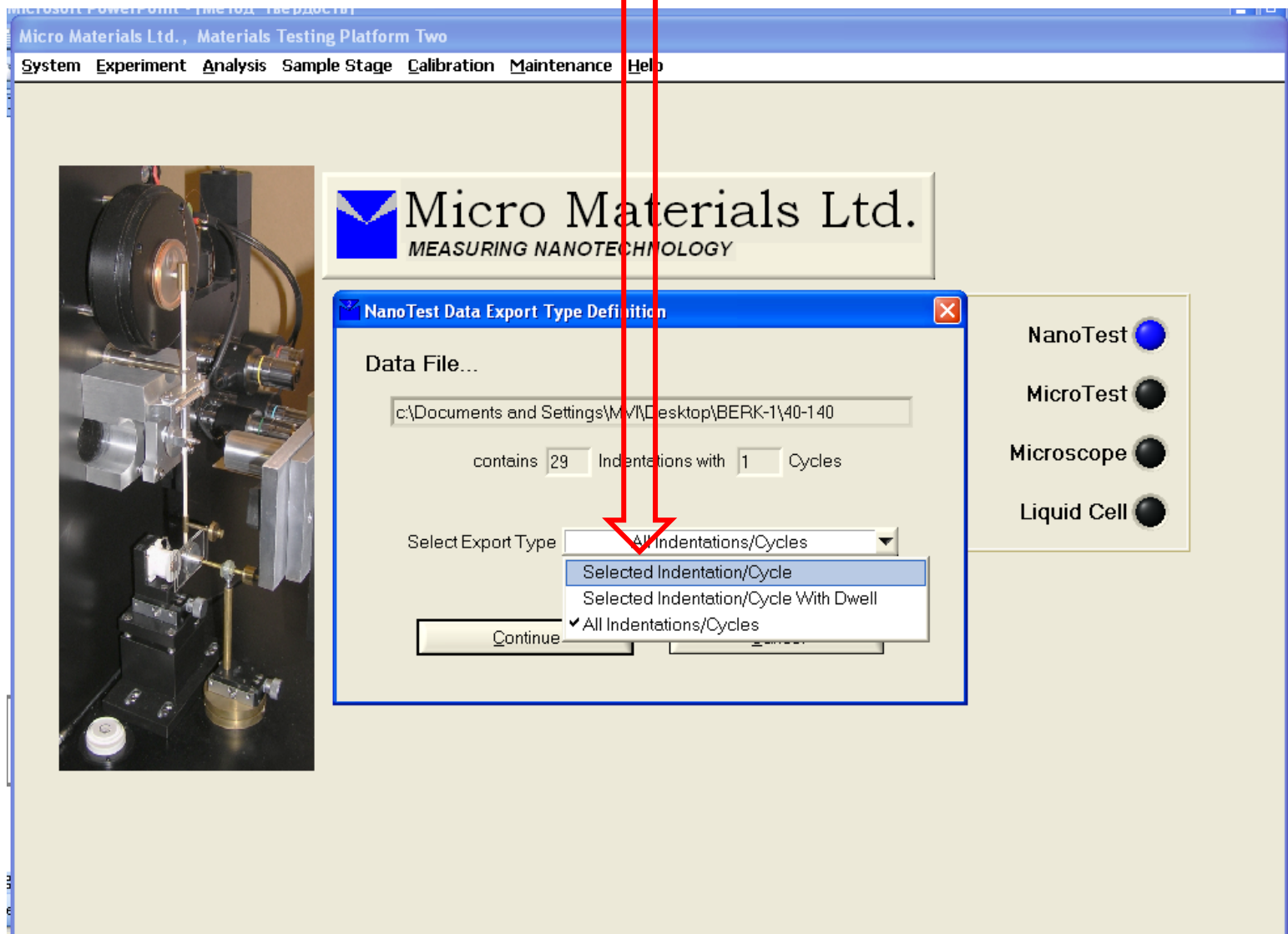
- Indentation number: 1
- Load cycle number: 1

Buttons for navigation and actions are also visible:

- Indentation number: << Previous, Next >>, All
- Load cycle number: << Previous, Next >>, All
- Make Reference
- Add to Presentation
- Exit

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

г) а выбрать одну кривую индентирования из всего семейства кривых



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

д) выбрать опцию «Export» цифровых значений нагрузки и глубины внедрения индентора

The screenshot displays the NanoTest software interface. In the background, a graph shows Load (mN) on the y-axis (0.1 to 40.1) and a parameter on the x-axis (0 to 200). A red curve represents the data. The 'NanoTest Data Export Format Definition' dialog box is open, showing the following settings:

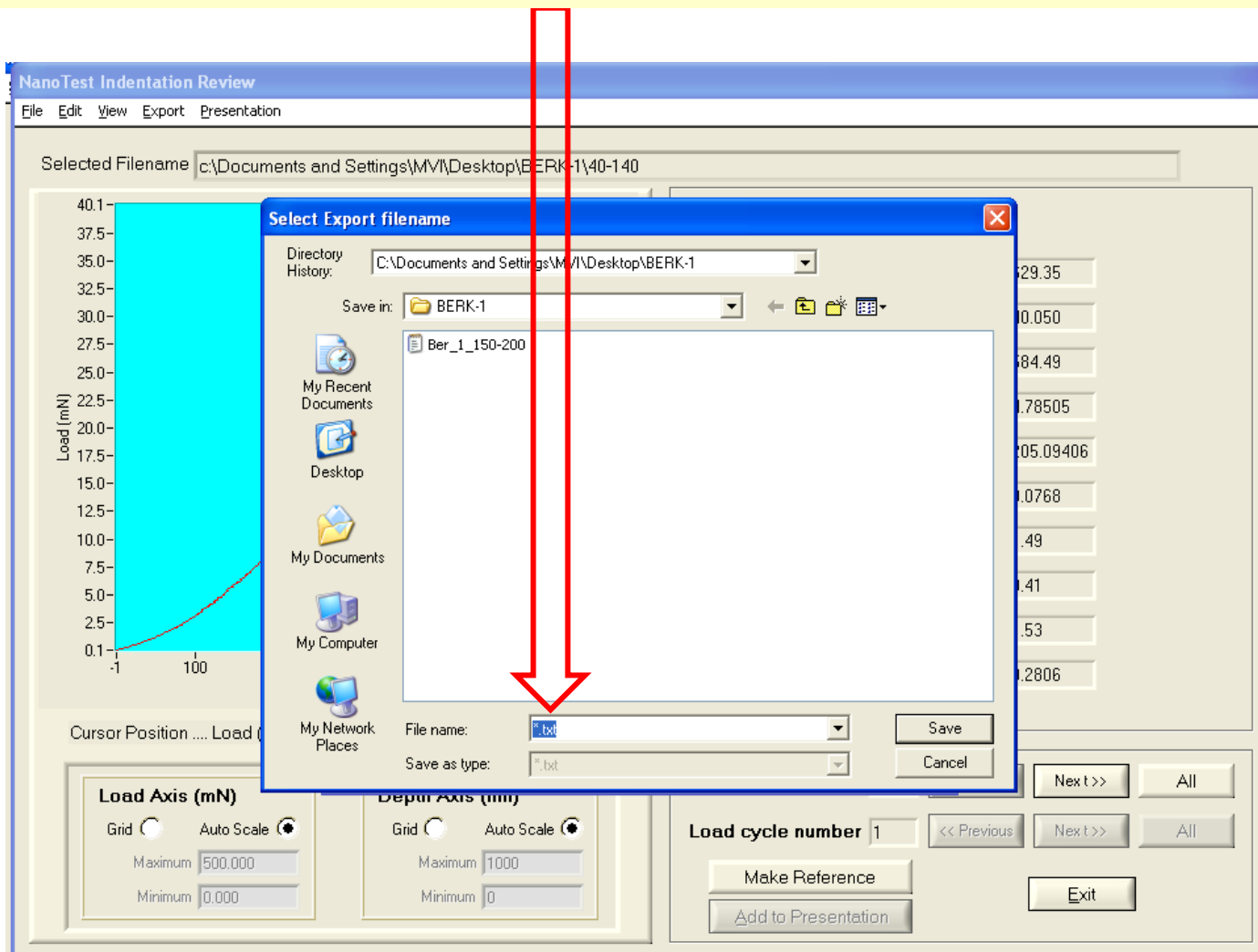
- Data to Export: c:\Documents and Settings\MV\Desktop\BERK-1\40-140
- Text File Format: Indentation Delimiter: Two Blank Lines; Cycle Delimiter: One Blank Line; Number of Columns: 2; Column Delimiter: Tab
- Column 1: Load
- Column 2: Depth
- Column 3: Sample Time

Red arrows indicate the selection of 'Load' and 'Depth' in the column dropdowns, with labels 'нагрузка' and 'глубина' respectively. A vertical red arrow points from the top of the dialog down to the 'Export' button.

(nm)	629.35
(mN)	40.050
(nm)	584.49
GPa)	4.78505
(GPa)	205.09406
meter	0.0768
/mN)	1.49
k (nJ)	9.41
k (nJ)	1.53
error	0.2806

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

е) сохранить файл, который содержит цифровые значения нагрузки и глубины внедрения индентора, в текстовом формате: «Ber_1_150_200.txt»

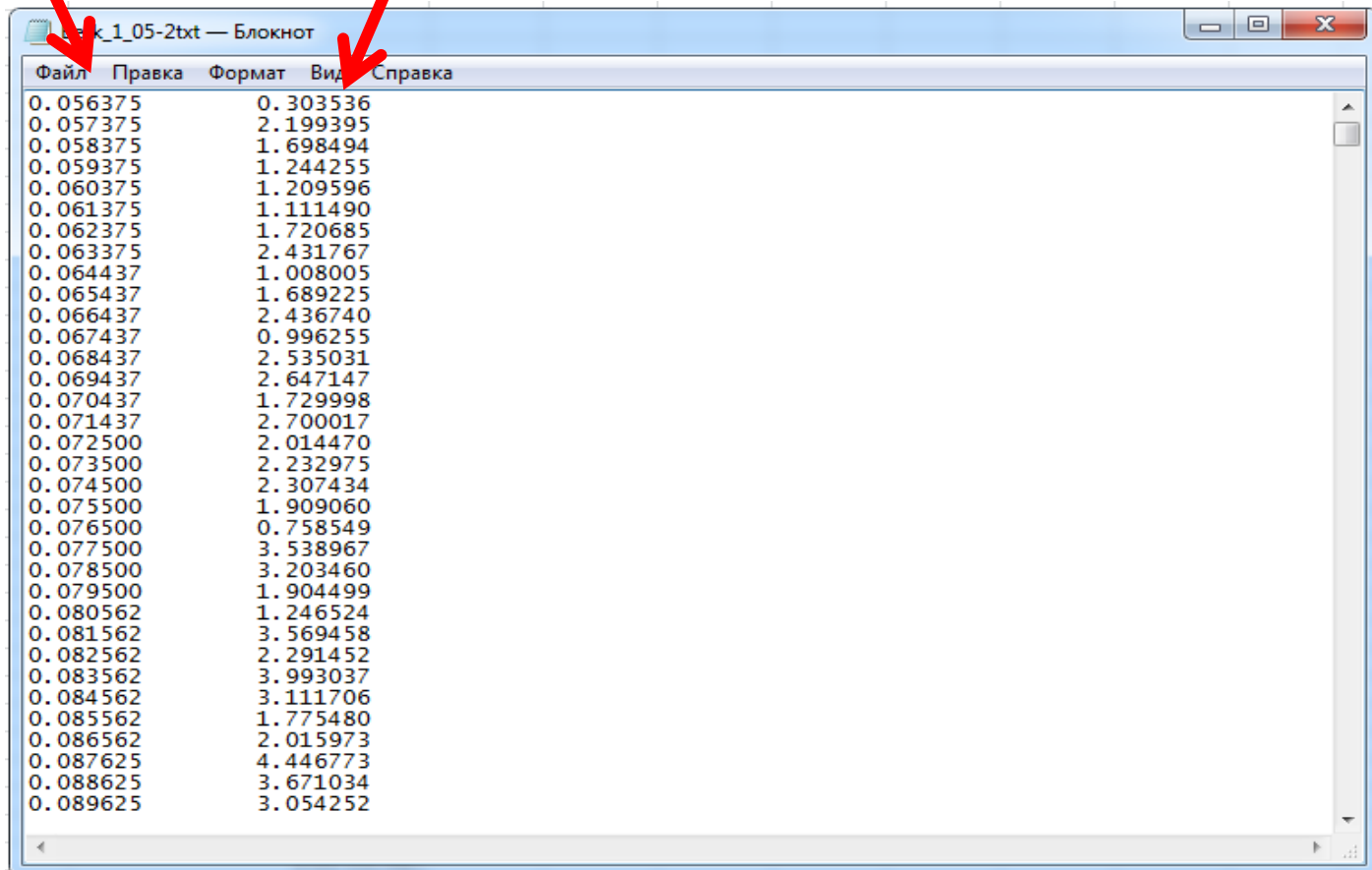


ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3. Диаграмма индентирования Berk_1_05_2 в цифровом виде.

Нагрузка, F

Глубина внедрения
индентора, h



Нагрузка, F	Глубина внедрения индентора, h
0.056375	0.303536
0.057375	2.199395
0.058375	1.698494
0.059375	1.244255
0.060375	1.209596
0.061375	1.111490
0.062375	1.720685
0.063375	2.431767
0.064437	1.008005
0.065437	1.689225
0.066437	2.436740
0.067437	0.996255
0.068437	2.535031
0.069437	2.647147
0.070437	1.729998
0.071437	2.700017
0.072500	2.014470
0.073500	2.232975
0.074500	2.307434
0.075500	1.909060
0.076500	0.758549
0.077500	3.538967
0.078500	3.203460
0.079500	1.904499
0.080562	1.246524
0.081562	3.569458
0.082562	2.291452
0.083562	3.993037
0.084562	3.111706
0.085562	1.775480
0.086562	2.015973
0.087625	4.446773
0.088625	3.671034
0.089625	3.054252

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4. Подставить цифровые значения нагрузки и глубины в программу в Excel, для пирамиды Берковича $\alpha=65,03^\circ$ вставить формулу для определения поверхностной твёрдости и рассчитать поверхностную твёрдость для всего интервала нагружения индентора.

Нагрузка, F
(A2)

Глубина внедрения
индентора, h (B2)

Формула, по которой определяют
объёмную твёрдость

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	F	h		НБпов				
2	0,051312	0,831611		0,002806806				
3	0,052312	0,965164		0,002124384				
4	0,053312	2,088474		0,000462382				
5	0,054312	1,802337		0,000632496				
6	0,055312	-0,32907		0,019322739				
7	0,056375	0,303536		0,02314728				
8	0,057375	2,199395		0,000448694				
9	0,058375	1,698494		0,000765478				
10	0,059375	1,244255		0,001450837				
11	0,060375	1,209596		0,001561027				
12	0,061375	1,11149		0,001879378				
13	0,062375	1,720685		0,000796969				
14	0,063375	2,431767		0,000405423				
15	0,064437	1,008005		0,002399075				
16	0,065437	1,689225		0,000867525				
17	0,066437	0,42674		0,00109270				

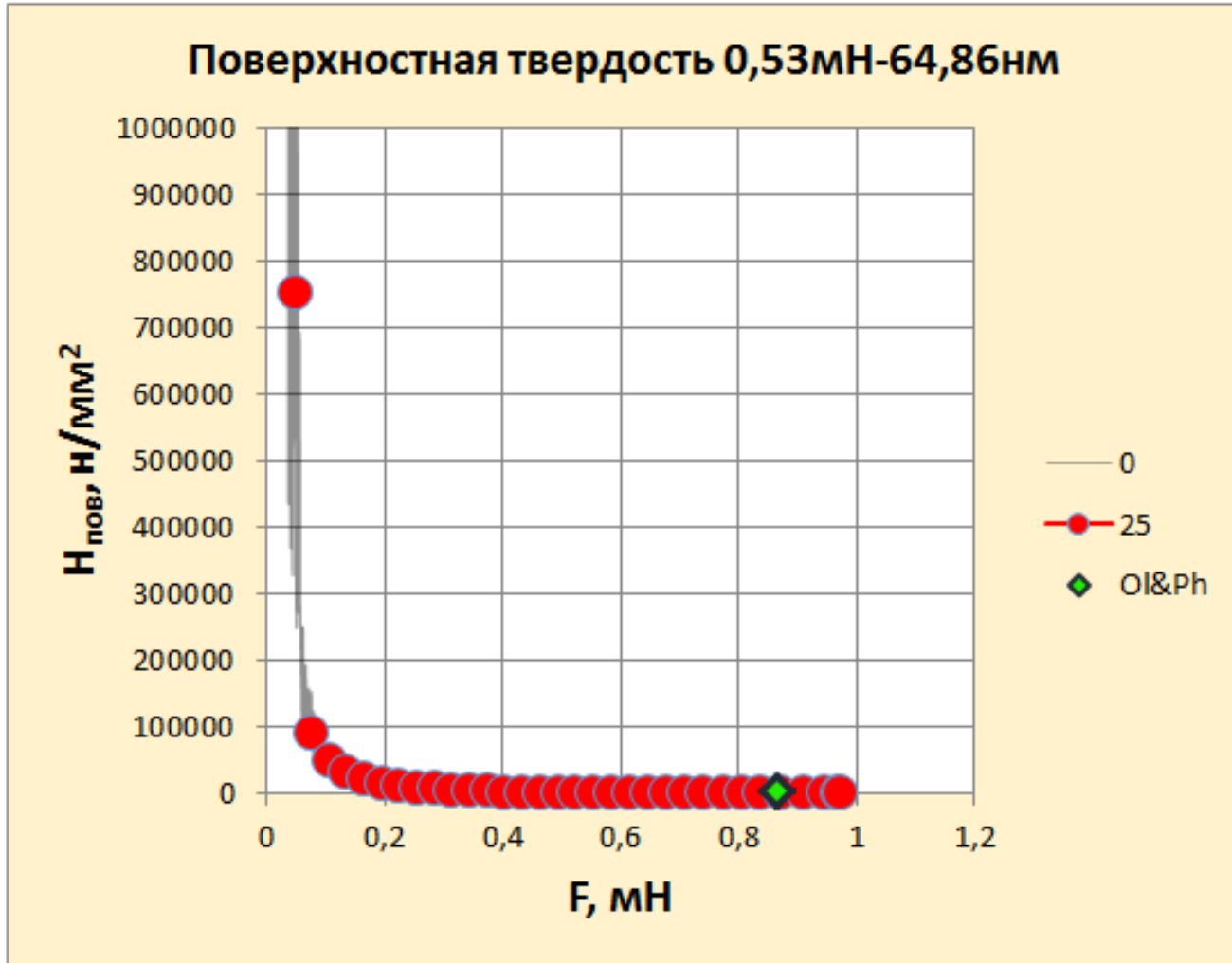
$$H_{пов}^{инд} = \frac{F}{S_{бок}} = \frac{F}{26,4342 \cdot h^2}$$

Твёрдость

Диаграмма индентирования Berk_1_05_2 в цифровом виде.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5. Получить зависимость поверхностной твёрдости от нагрузки для всего интервала нагружения .



ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчет о работе должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы.
- 3) Формулы для определения поверхностной нанотвёрдости для трёх пирамид Берковича.
- 4) Порядок выполнения работы.
- 4) Результаты индентирования образца в виде кривой индентирования и в цифровом виде.
- 8) Результаты расчёта поверхностной твёрдости для всего интервала индентирования в числовом виде для индентора Берковича ($\alpha=65,03^\circ$).
- 9) Зависимость поверхностной нанотвёрдости от нагрузки для индентора Берковича ($\alpha=65,03^\circ$).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое поверхностная нанотвердость?
- 2) По каким формулам определяют поверхностную нанотвёрдость для всех трёх пирамид Берковича?
- 3) Какой характер носит зависимость поверхностной нанотвёрдости от нагрузки для пирамиды Берковича?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить метод конечных элементов определения нанотвёрдости.

2) Изучить существующие приборы для определения нанотвёрдости различных производителей.