

РЕЗУЛЬТАТЫ

лабораторных испытаний на определение прочности при сжатии образцов на основе пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 при температуре 23⁰С и охлажденных до криогенной температуры минус 190⁰С

Период проведения испытаний: с 29.01.2024 года по 16.02.2024 года.

Методика проведения испытаний: Программа и методика испытаний «Изделия из пеностекла для конструкций тепловой изоляции резервуаров полной герметизации с рабочей емкостью 160 000 м³ для хранения сжиженного природного газа (СПГ) от 08.08.2023г. (далее ПМИ)

Проведены испытания 86 образцов из запланированных 86 образцов пеностекла. В качестве мембраны использован рулонный битумно-полимерный материал торговой марки «Техноэласт Фундамент ГИДРО» ЭМП, армированный полиэфирным волокном (СТО 72746455-3.1.11-2015)

Применяемое оборудование:

- Пресс Гидравлический ИП-500М-авто» № 79 свидетельство поверки № С-БЗ/05-06-2023/252104210 от 04 июня 2023г.;
- Весы лабораторные «ВК-3000.1» 79 свидетельство поверки № С-БЗ/10-03-2023/233974625 от 09 марта 2023г.;
- Штангенциркуль «Калиброн» с цифровым отсчетным устройством ШЦЦ, диапазон 0-300 мм, 77302-20 свидетельство поверки № С-БЗ/07-10-2022/191487910 от 06 октября 2023г.;
- Линейка металлическая – 500д ГОСТ 427-75 зав. № 500 (№4) от 2012г., сертификат калибровки № 01-881 до 05.06.2024г.
- Сосуд для хранения жидкого азота CRYO Anlagenbau GmbH, модель CS 300 SK заводской № #12089
- Изотермические ящики для охлаждения образцов в среде жидкого азота.

Квалификация персонала, проводящего испытания соответствует требованиям проекта.

Результаты проведённых испытаний в таблицах 1-9.

Графики измерения и фотографии хода проведения испытаний в таблицах 10–16.

Таблица 1 – Требования ПМИ к прочности образцов на основе пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 130 мм и результаты испытаний.

Вид образца	Температура образцов, °С	Средняя прочность, МПа		Минимальная прочность, МПа		Комментарий
		требование ПМИ	Результат испытания	требование ПМИ	Результат испытания	
контрольный по EN 826	23	-	1,251	-	1,023	Справочно
одиочный	23	0,8	1,195	0,552	0,925	удовлетворяет требованиям
	-190	0,8	1,021	0,552	0,889	удовлетворяет требованиям
кладка	23	0,32	1,061*	0,32	0,77*	удовлетворяет требованиям
	-190	0,32	0,89*	0,32	0,73*	удовлетворяет требованиям
-* значения получены расчётом с использованием переходных и масштабных коэффициентов, полученных при испытаниях пеностекла толщиной 70 мм						

Таблица 2 – Масштабные и переходные коэффициенты для расчета средней прочности кладки при толщине слоев пеностекла 130 мм

Температура образцов, °С	Толщина, мм	Прочность средняя одиночных образцов при испытаниях, σ_1 , МПа	Масштабный коэффициент, $k_1 = \sigma_{130} / \sigma_{170}$	Прочность средняя кладки, σ_k , МПа	Переходный коэффициент, $k_2 = \sigma_{170} / \sigma_{k70}$	Расчетная прочность кладки, МПа, $\sigma_{kr} = \sigma_1 * k_1 * k_2$
23	130	1,19	1,00	-	-	1,061
23	70	1,36	0,88	1,34	1,01	
-190	130	1,02	1,00	-	-	0,89
-190	70	1,28	0,80	1,17	1,09	-

Таблица 2.1 – Масштабные и переходные коэффициенты для расчета минимальной прочности кладки при толщине слоев пеностекла 130 мм

Температура образцов, °С	Толщина, мм	Прочность минимальная одиночных образцов при испытаниях, σ_1 , МПа	Масштабный коэффициент, $k_1 = \sigma_{130} / \sigma_{170}$	Минимальная прочность кладки, σ_k , МПа	Переходный коэффициент, $k_2 = \sigma_{170} / \sigma_{k70}$	Расчетная прочность кладки, МПа, $\sigma_{kr} = \sigma_1 * k_1 * k_2$
23	130	0,925	1,00	-	-	0,77
23	70	1,106	0,84	1,109	1,00	
-190	130	0,889	1,00	-	-	0,73
-190	70	1,195	0,74	1,078	1,11	-

Таблица 3 - Прочность при сжатии одиночных образцов пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 после охлаждения в жидком азоте при температуре менее минус 190°С

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформаци я, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	63 А	130,7	299,5	225,2	1 169,9	133	3,165	71,564	1,061
2	64 D	127,6	301,2	225,2	1 145,0	132	2,815	67,968	1,002
3	88 D	131,5	299,4	225,9	1 166,8	131	2,765	62,671	0,927
4	91 С	130,8	300,5	225	1 129,800	128	3,745	74,735	1,105
5	96 В	131,4	302,1	225	1 172,100	131	2,605	60,416	0,889
6	91 А	131	299,9	225,3	1 135,9	128	3,772	77,121	1,141
Среднее						132	3,145	69,079	1,021
Минимальное						128	2,605	60,416	0,889

Таблица 4 - Прочность при сжатии одиночных образцов пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 при температуре 23°C

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформаци я, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	63 С	130,6	300	225,4	1 178,2	133	1,524	62,573	0,925
2	64 С	129	301,2	226,5	1 164,8	132	1,261	71,629	1,050
3	65 С	130,4	301,2	226,1	1 154,0	130	1,492	72,218	1,060
4	66 С	130,8	301,8	225,2	1 196,8	135	1,614	89,250	1,313
5	67 С	130,8	300,5	224,9	1 159,5	131	1,522	89,479	1,324
6	70 С	130,9	302,8	225,4	1 154,7	129	1,726	81,502	1,194
7	71 С	130,7	298,9	224,9	1 187,5	135	1,575	87,681	1,304
8	72 С	131,1	301,9	225,7	1 176,8	132	1,682	90,395	1,327
9	73 С	131	301,9	225,5	1 163,3	130	1,277	64,502	0,947
10	74 С	131	299,6	225,9	1 168,3	132	1,495	82,908	1,225
11	75 С	130,8	299,2	225,4	1 175,5	133	2,016	104,060	1,543
12	76 С	130,7	300,4	226,1	1 163,3	131	1,643	83,431	1,228
13	77 С	130,5	301	225,1	1 175,1	133	1,437	81,372	1,201
14	79 С	130,7	299	225,5	1 168,4	133	1,442	77,383	1,148
15	64 В	129	299,5	224,3	1 139,2	131	1,431	67,641	1,007
16	65 В	131	299	224,9	1 138,9	129	1,195	71,008	1,056
17	66 В	130,7	299,6	224,9	1 174,0	133	1,838	95,135	1,412
18	67 В	130,3	300,8	226,1	1 171,2	132	1,323	77,579	1,141
19	68 В	131,2	299,4	224,5	1 154,2	131	1,350	73,264	1,090
20	69 В	130,5	300,7	224,9	1 160,7	132	1,385	76,468	1,131
21	70 В	130,6	299,4	224,7	1 136,5	129	1,543	80,097	1,191

22	71 B	130,8	301,4	225,6	1 196,1	134	1,337	78,495	1,154
23	72 B	130,6	299,3	224,9	1 168,2	133	1,506	83,235	1,237
24	73 B	130,5	298,9	224,8	1 148,1	131	1,371	76,468	1,138
25	74 B	130,6	299,1	225,5	1 163,7	132	1,479	80,129	1,188
26	75 B	131	300,7	225,2	1 177,1	133	1,424	84,477	1,247
27	76 B	131,1	299,6	225,1	1 149,6	130	1,476	68,000	1,008
28	77 B	130,9	299,5	225	1 165,2	132	1,634	85,818	1,274
29	78 B	130,9	299	224,7	1 152,6	131	1,678	72,937	1,086
30	79 B	131,2	299,8	225,1	1 165,2	132	1,550	90,787	1,345
31	80 B	130,8	299,4	226,3	1 177,1	133	1,637	94,285	1,392
32	80 C	130,8	299,5	224,7	1 166,9	133	1,666	88,172	1,310
33	85 C	131,1	299,4	225,8	1 152,1	130	1,362	77,710	1,149
34	91 B	131	299,7	225,3	1 132,9	128	1,474	84,314	1,249
35	95 B	130,8	300,3	225,1	1 149,3	130	1,392	82,091	1,214
Среднее						132	1,507	80,757	1,195
Минимальное						128	1,195	62,573	0,925

Таблица 5 - Прочность при сжатии кладки из пеностекла НЕОПОРМ® D130 после охлаждения в жидком азоте при температуре менее -190°С

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформаци я, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	66 А	70,9	299,2	225,9	642,0	134	9,631	74,931	1,109
	67 А	70,6	300,4	224,8	633,0	133			
	68 А	70,9	299,9	225,9	625,4	130			
2	69 А	70,6	300,7	225,9	636,9	133	13,541	91,310	1,344
	71 А	70,7	300,7	225,2	645,1	135			
	72 А	70,8	299,4	225,9	638,3	133			
3	73 А	70,7	298,7	225,9	627,3	131	8,000	72,708	1,078
	65 D	70,5	301,8	224,4	623,8	131			
	86 А	70,8	298,7	225,5	637,0	134			
4	66 D	70,7	301,1	226	640,6	133	12,312	84,673	1,244
	67 D	70,6	300	226,2	627,9	131			
	68 D	71,3	301,4	225,3	638,5	132			
5	69 D	70,7	300,4	224,6	624,8	131	8,771	73,820	1,094
	70 D	70,8	301,3	225,3	620,4	129			
	71 D	70,9	299,8	225,7	648,8	135			
Среднее						132	10,451	79,488	1,174
Минимальное							8,000	72,708	1,078

Таблица 6 - Прочность при сжатии кладки из пеностекла НЕОПОРМ® D130 при температуре 23°C

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформаци я, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	66 А	70,9	299,2	225,9	642,0	134	9,631	74,931	1,109
	67 А	70,6	300,4	224,8	633,0	133			
	68 А	70,9	299,9	225,9	625,4	130			
2	69 А	70,6	300,7	225,9	636,9	133	13,541	91,310	1,344
	71 А	70,7	300,7	225,2	645,1	135			
	72 А	70,8	299,4	225,9	638,3	133			
3	73 А	70,7	298,7	225,9	627,3	131	4,317	92,029	1,351
	65 D	70,5	301,8	224,4	623,8	131			
	86 А	70,8	298,7	225,5	637,0	134			
4	66 D	70,7	301,1	226	640,6	133	12,312	84,673	1,244
	67 D	70,6	300	226,2	627,9	131			
	68 D	71,3	301,4	225,3	638,5	132			
5	69 D	70,7	300,4	224,6	624,8	131	8,771	73,820	1,094
	70 D	70,8	301,3	225,3	620,4	129			
	71 D	70,9	299,8	225,7	648,8	135			
Среднее						132	3,174	91,284	1,345
Минимальное						130	2,252	75,095	1,109

Таблица 7 - Прочность при сжатии одиночных образцов пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 при температуре 23°C по методике ГОСТ EN 826 с нанесением обмазки на поверхности образцов пеностекла.

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформаци я, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	82 А	130,6	300	225,6	1 160,2	131	1,707	90,133	1,332
2	83 А	130,8	300,5	225,3	1 146,4	129	1,833	81,175	1,199
3	84 А	130,3	301,8	224,5	1 166,3	132	1,804	87,779	1,296
4	79 D	130,8	300,9	224,7	1 172,4	133	1,579	69,177	1,023
5	80 D	131	300,9	226,2	1 177,1	132	1,831	95,527	1,403
Среднее						131	1,751	84,758	1,251
Минимальное						129	1,579	69,177	1,023

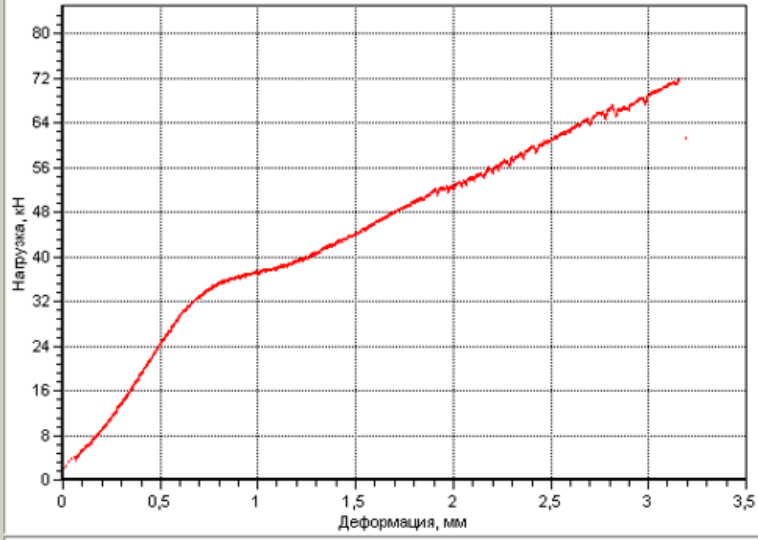
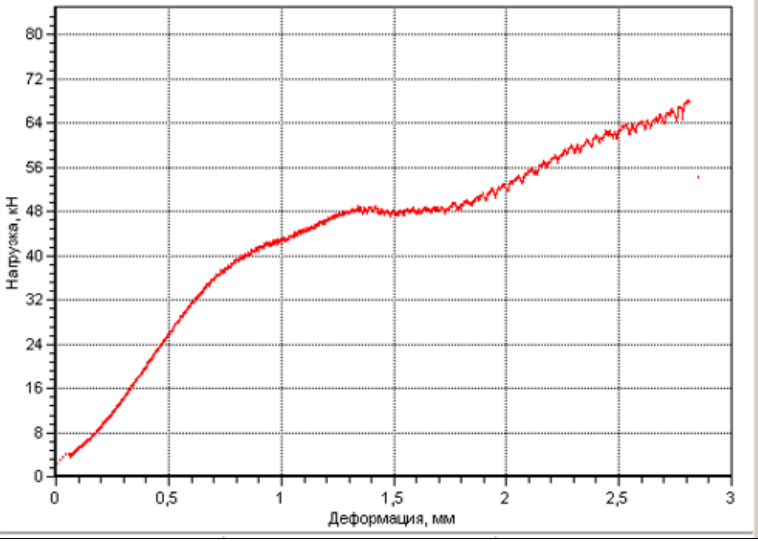
Таблица 8 - Прочность при сжатии одиночных образцов пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 при температуре 23°C для определения масштабных коэффициентов.

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформация, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	83 В	69,72	300,19	225,03	611,0	130	1,344	74,702	1,106
2	86 В	70,65	299,16	224,9	628,3	132	1,547	94,089	1,398
3	93 D	70,62	297,99	225,09	603,7	127	1,994	109,618	1,634
4	96 А	69,76	300,76	224,97	619,6	131	1,753	87,387	1,292
5	97 D	69,82	300,48	224,88	620,9	132	2,328	92,781	1,373
Среднее						130	1,793	91,715	1,361
Минимальное									1,106

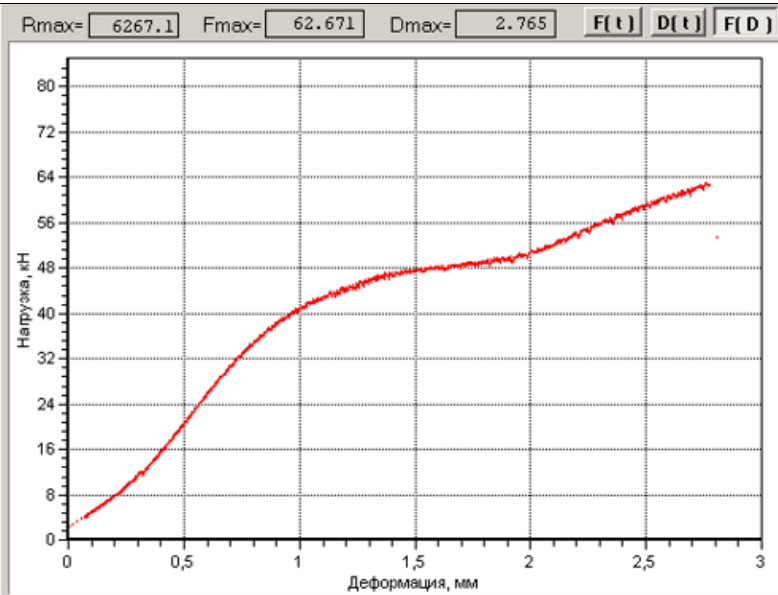
Таблица 9 - Прочность при сжатии одиночных образцов пеностекла НЕОПОРМ® марки D130 после охлаждения в жидком азоте при температуре менее минус 190°C для определения масштабных коэффициентов.

№ п/п	Маркировка	Толщина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Масса образца, г	Плотность, кг/м.куб.	Деформация, мм	Сила, кН	Прочность, МПа
1	86 С	70,9	301,8	225,6	645,8	134	4,383	95,789	1,407
2	90 С	70,7	301,1	225,6	605,4	126	1,978	81,208	1,195
3	92 D	71,1	299,0	224,1	598,1	126	5,761	81,666	1,219
4	93 А	70,8	300,5	225,3	614,2	128	10,380	93,664	1,383
5	96 D	70,8	298,4	224,5	628,1	132	3,935	81,437	1,216
Среднее						129	5,287	86,753	1,284
Минимальное						126	1,978	81,208	1,195

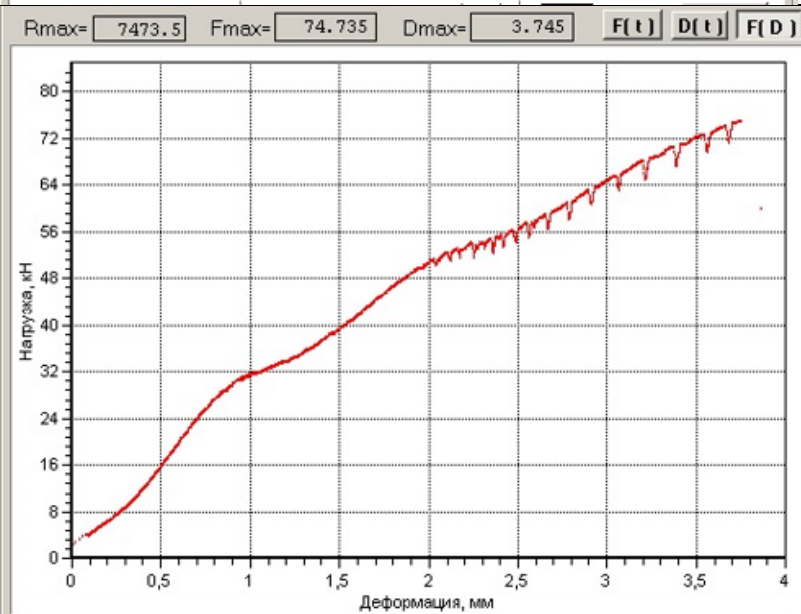
Таблица 10 – Графики измерения силы сжатия и деформации пеностекла НЕОПОРМ® D130 (минус 190⁰С)

Маркировка	Образцы пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 130 мм, охлажденные до температуры менее минус 190 ⁰ С	
63 A	Rmax= 7156.4 Fmax= 71.564 Dmax= 3.165 F(t) D(t) F(D)  Нагрузка, кН Деформация, мм 	
64 D	Rmax= 6796.8 Fmax= 67.968 Dmax= 2.815 F(t) D(t) F(D)  Нагрузка, кН Деформация, мм 	

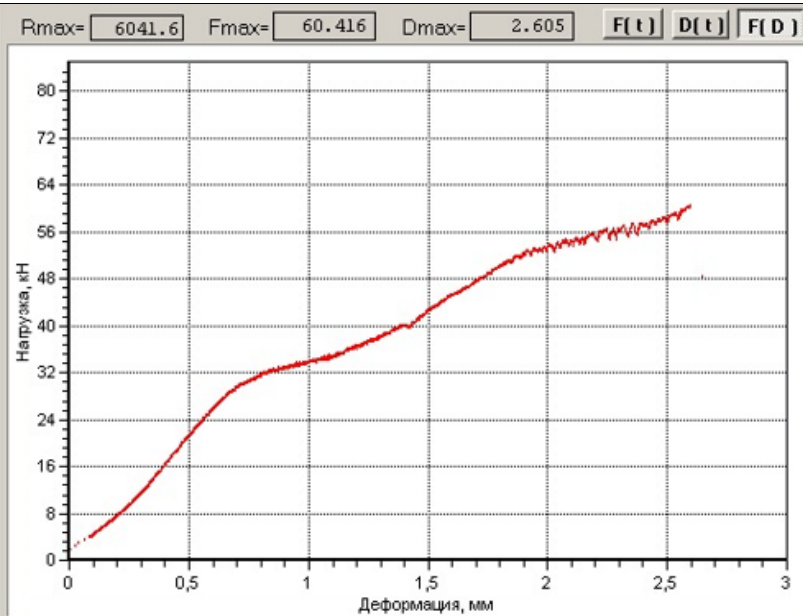
88 D



91 C



96 В



91 А

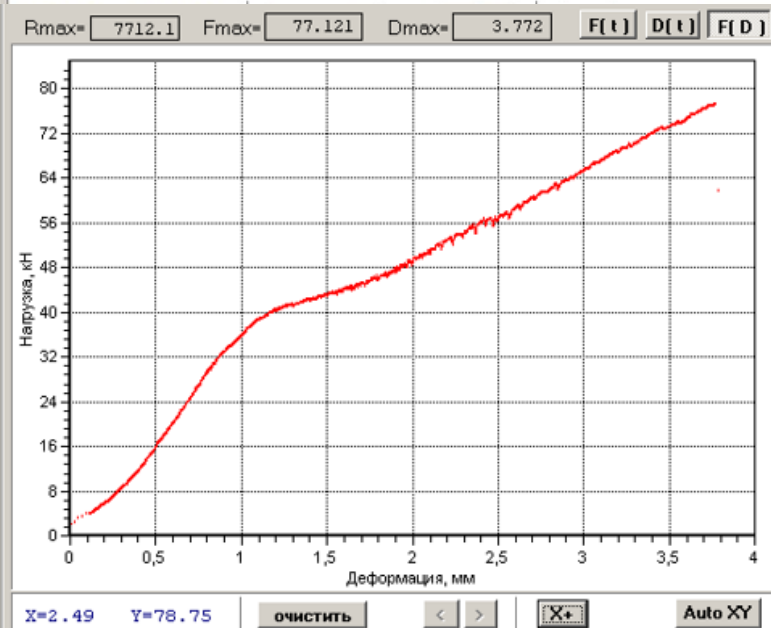
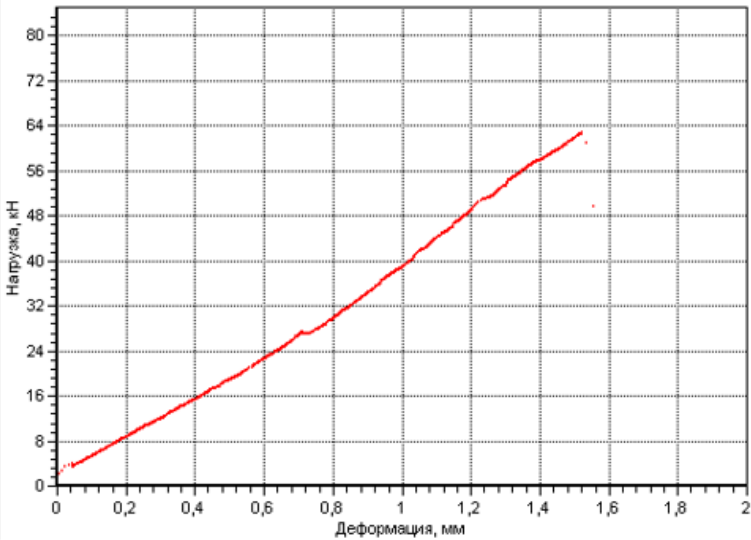
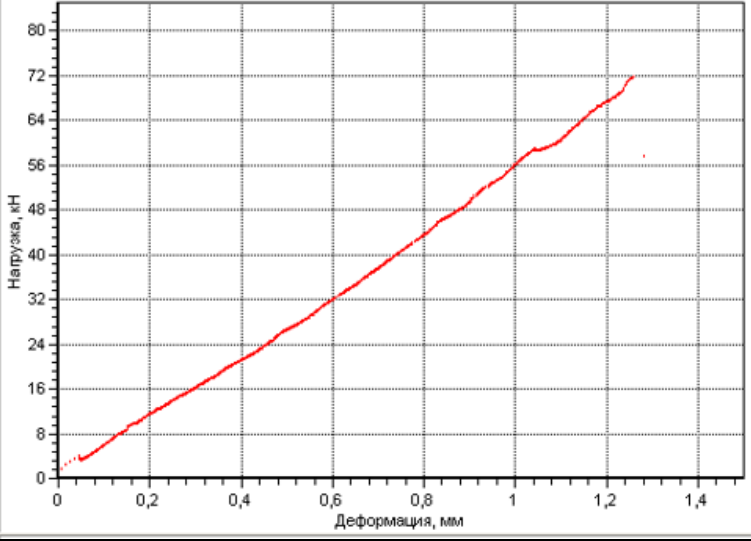
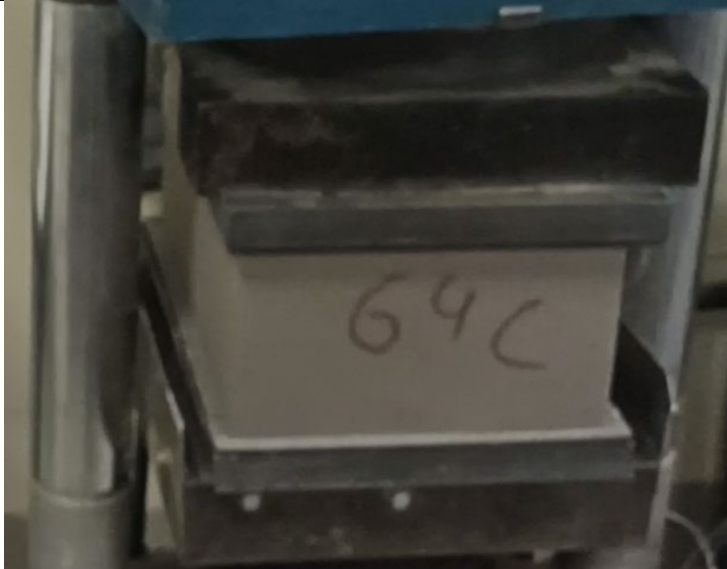
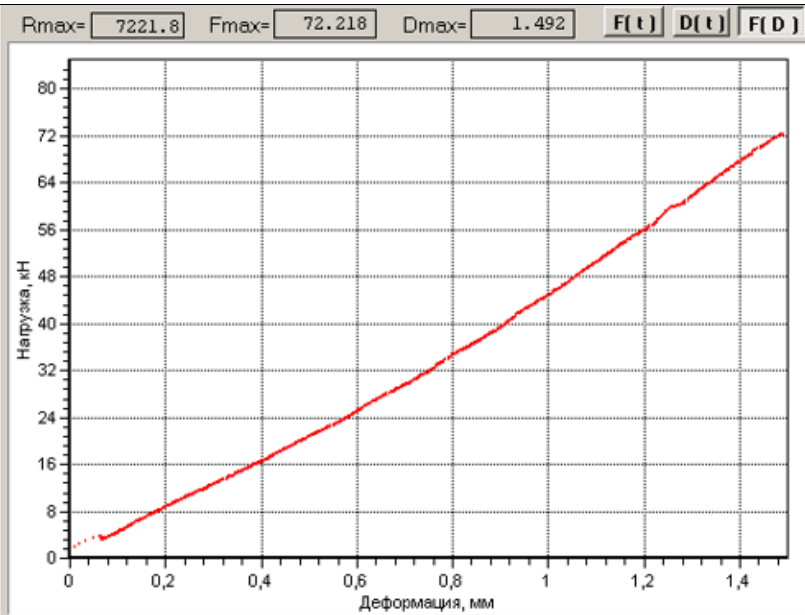


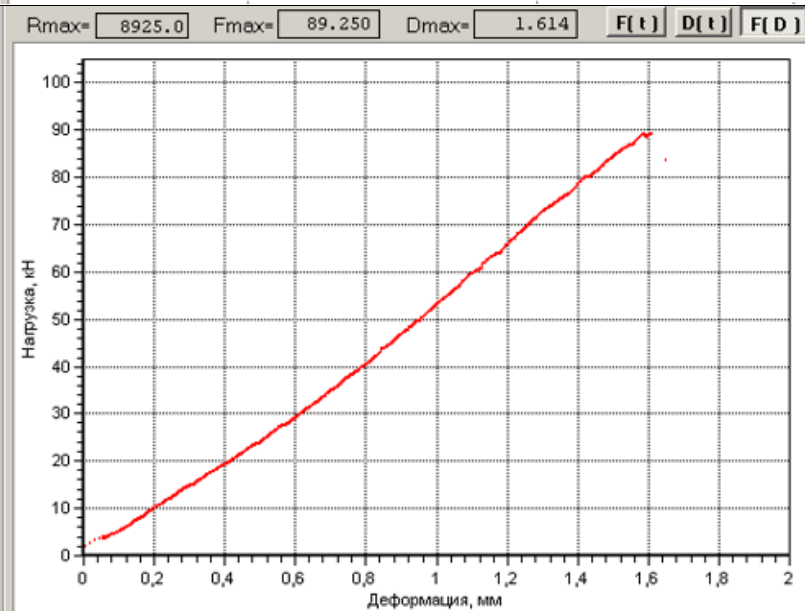
Таблица 11 – Графики измерения силы сжатия и деформации пеностекла НЕОПОРМ® D130 (при 23⁰С)

Маркировка	Образцы пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 130 мм, при температуре 23 ⁰ С	
63 С	Rmax= 6257.3 Fmax= 62.573 Dmax= 1.524 F(t) D(t) F(D)  	
64 С	Rmax= 7162.9 Fmax= 71.629 Dmax= 1.261 F(t) D(t) F(D)  	

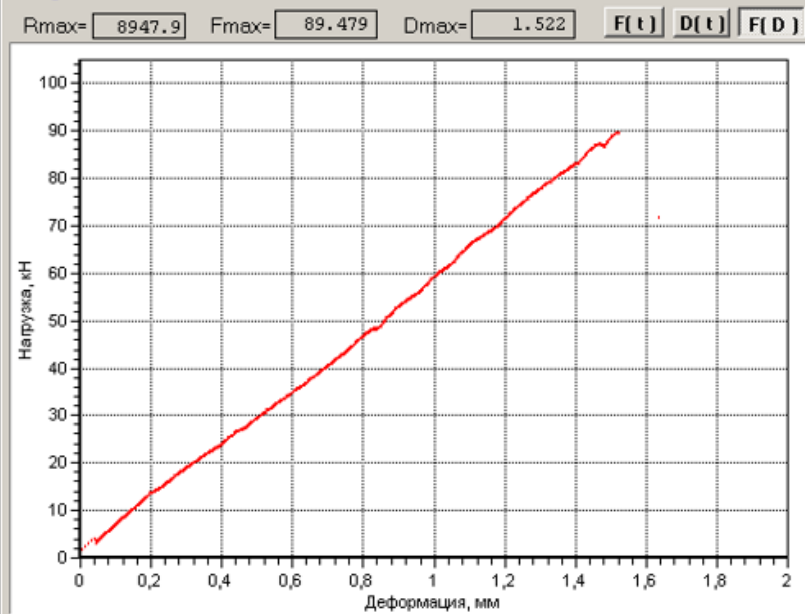
65 C



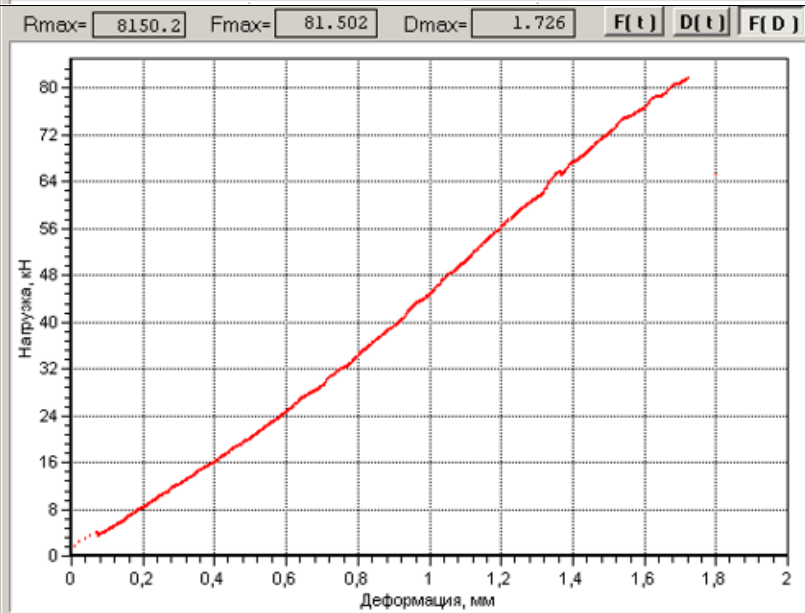
66 C



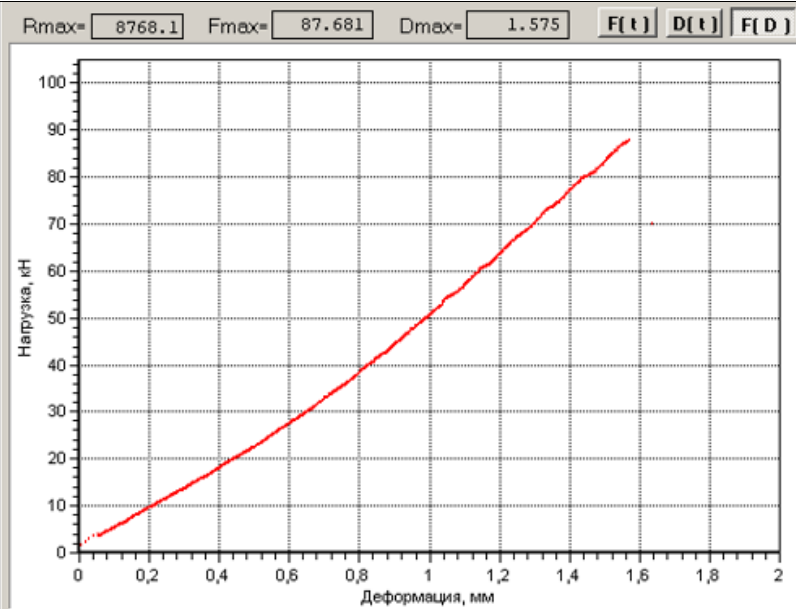
67 C



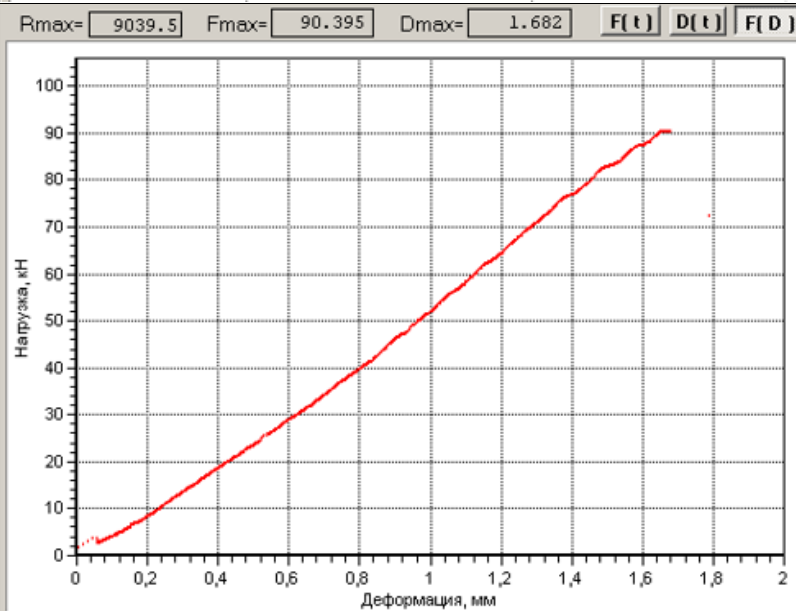
70 C



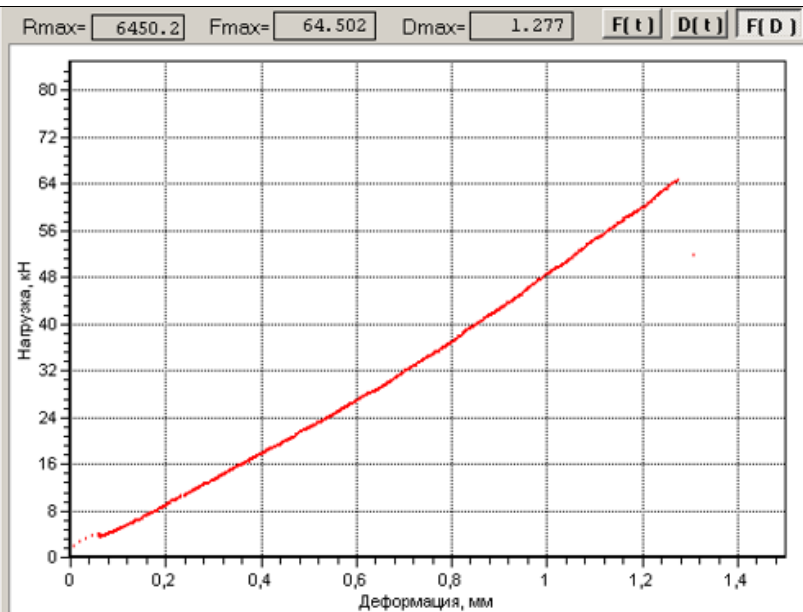
71 C



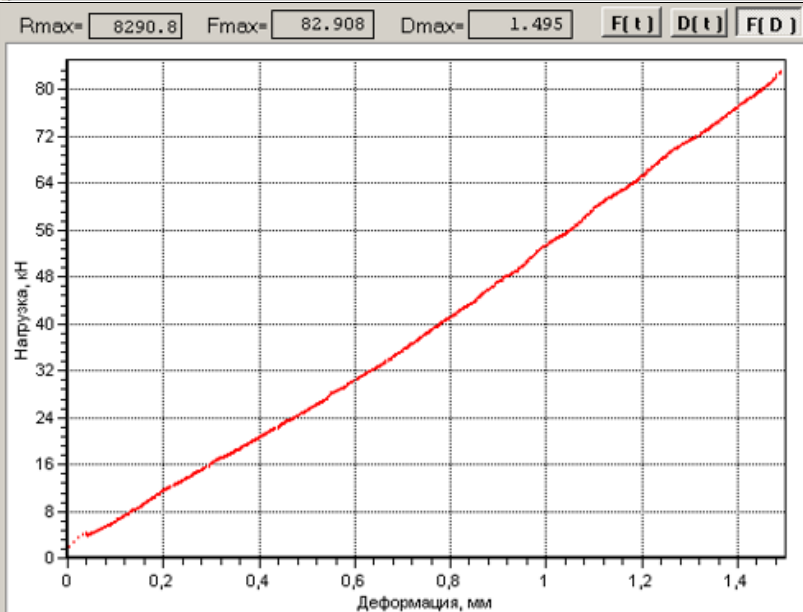
72 C



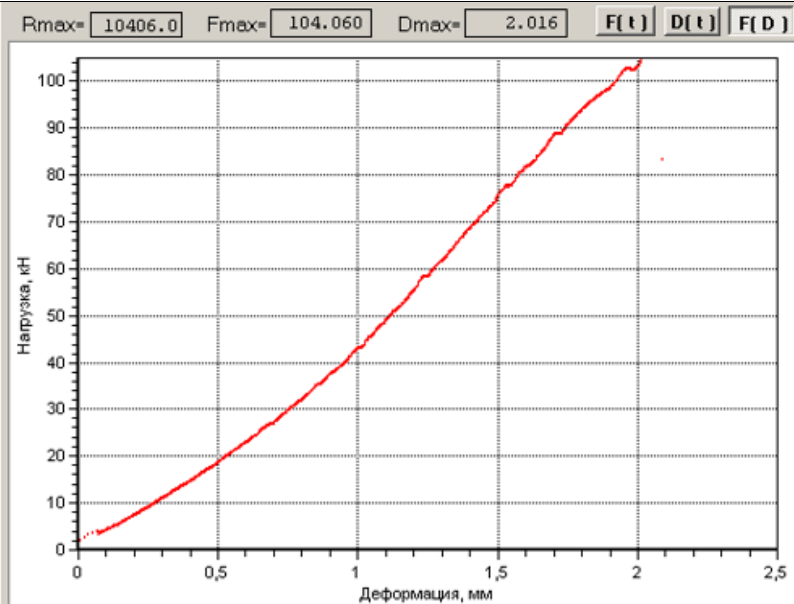
73 C



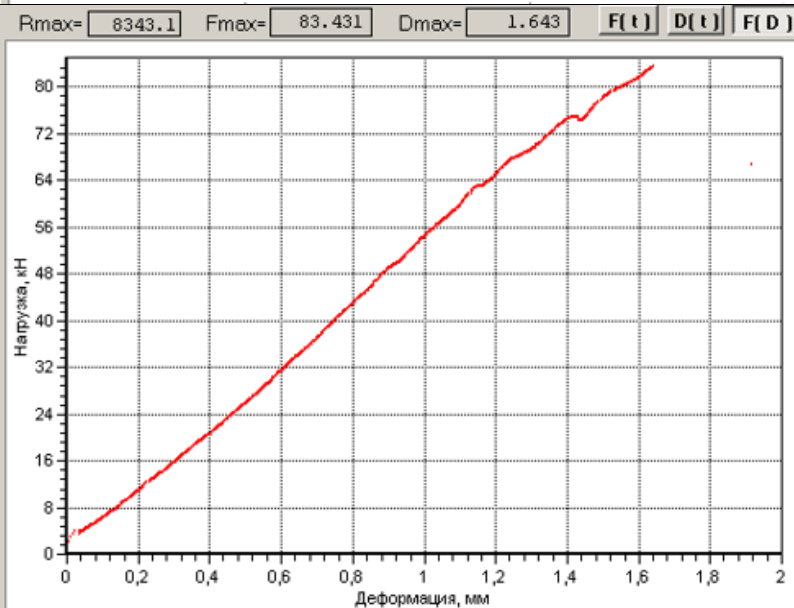
74 C



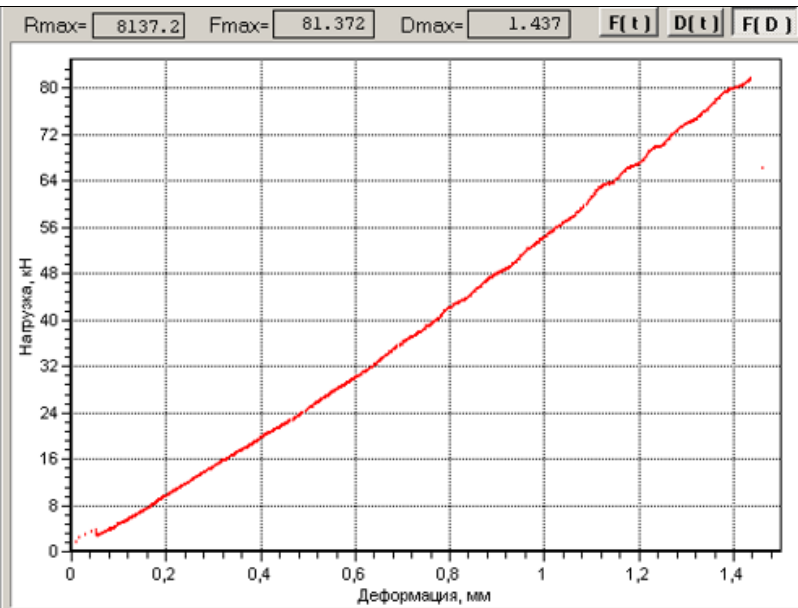
75 C



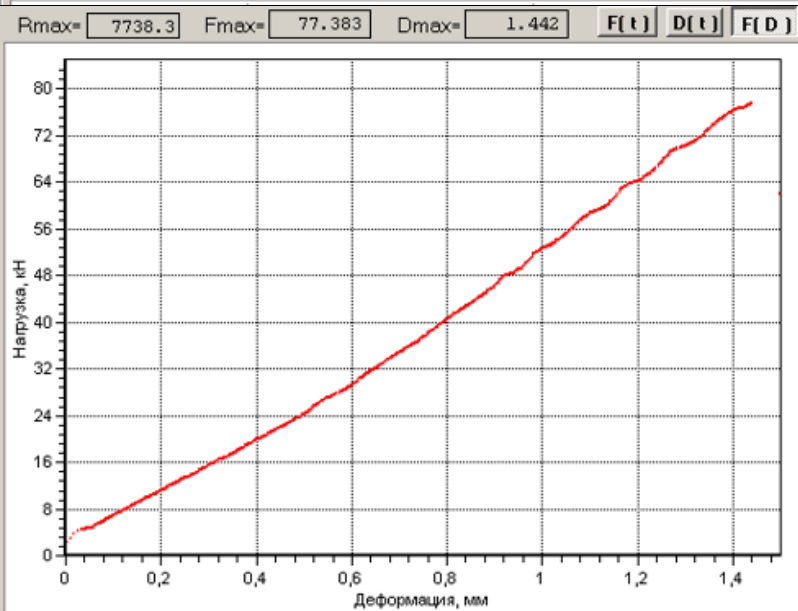
76 C



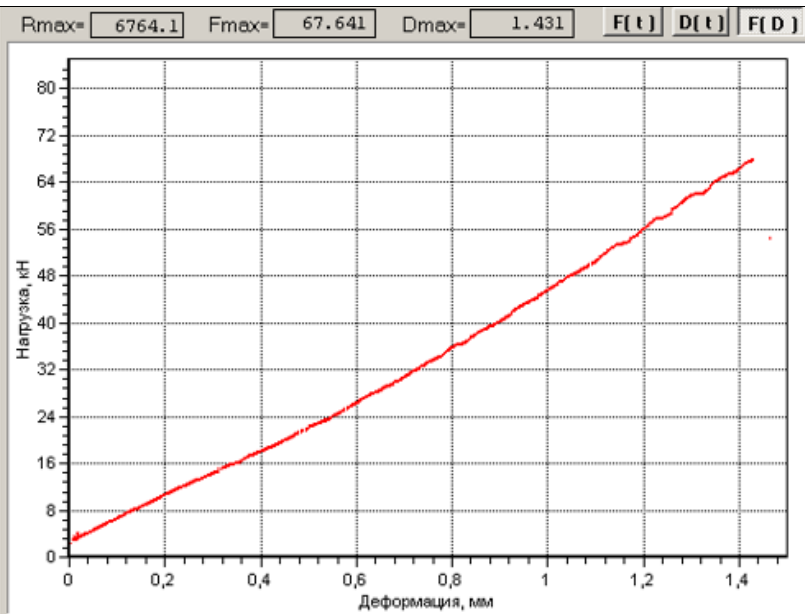
77 C



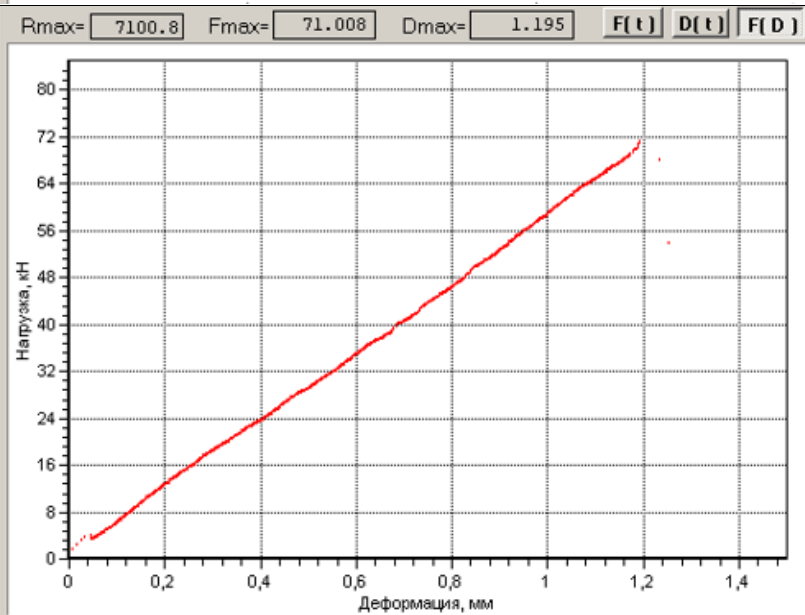
79 C



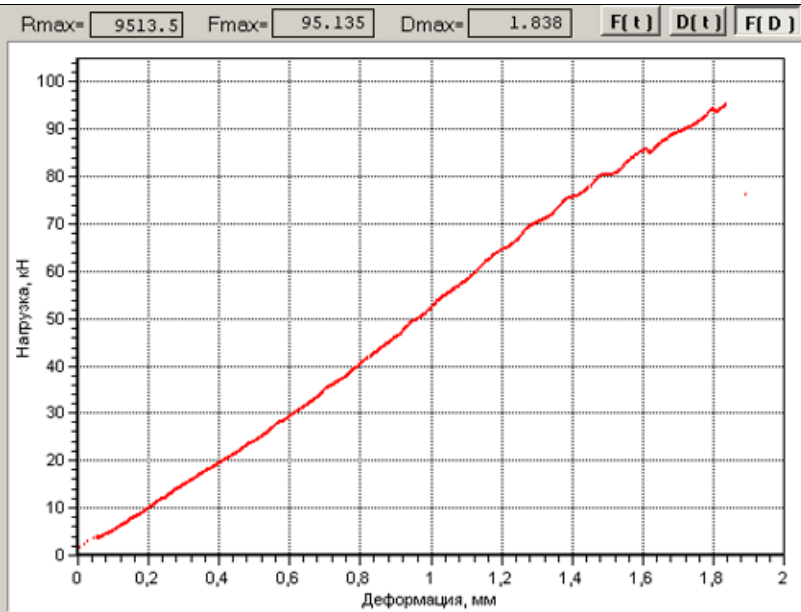
64 B



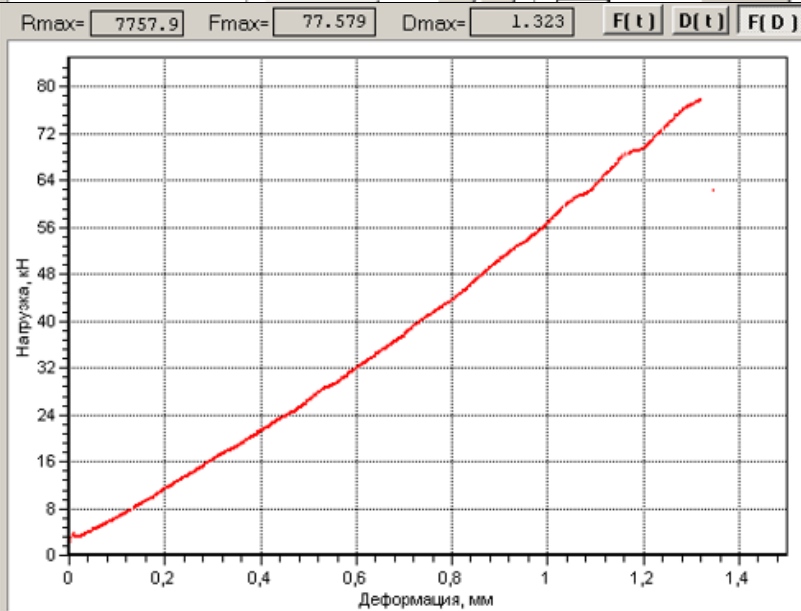
65 B



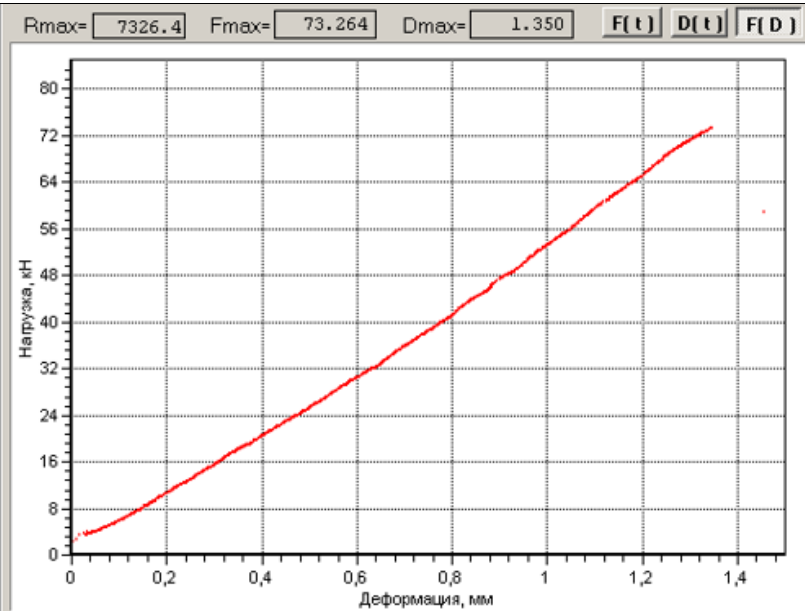
66 B



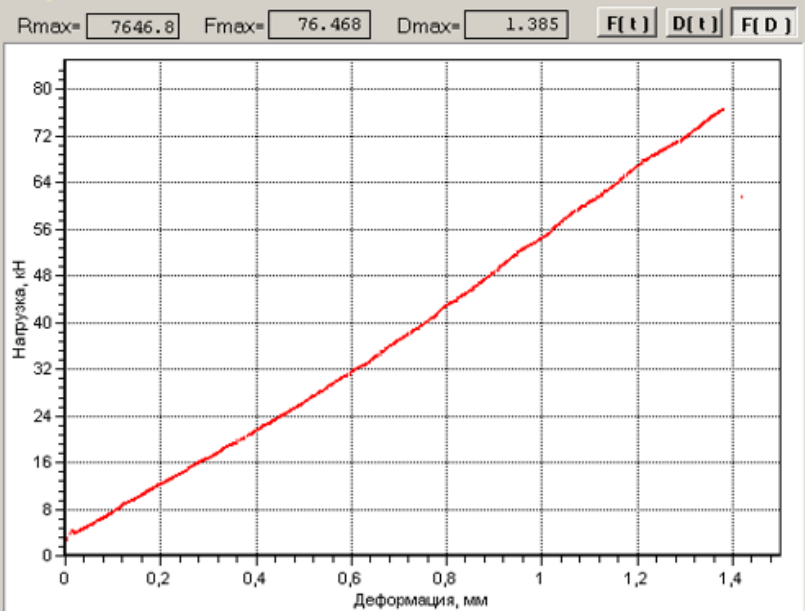
67 B



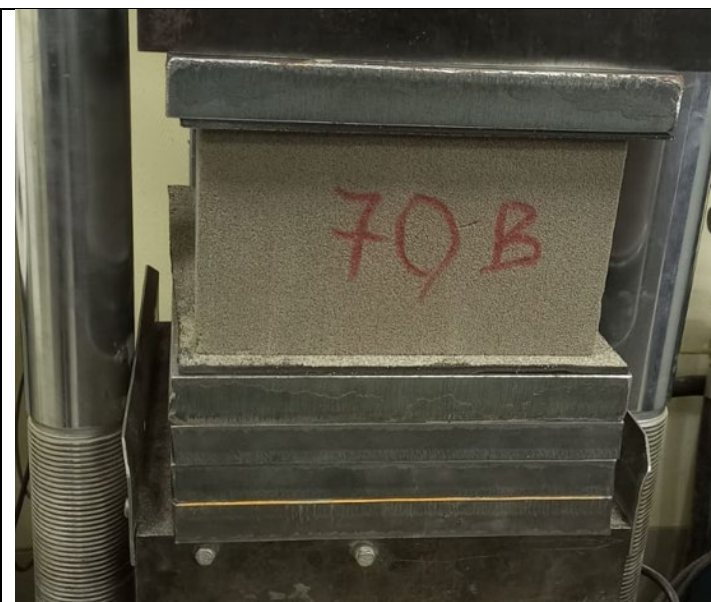
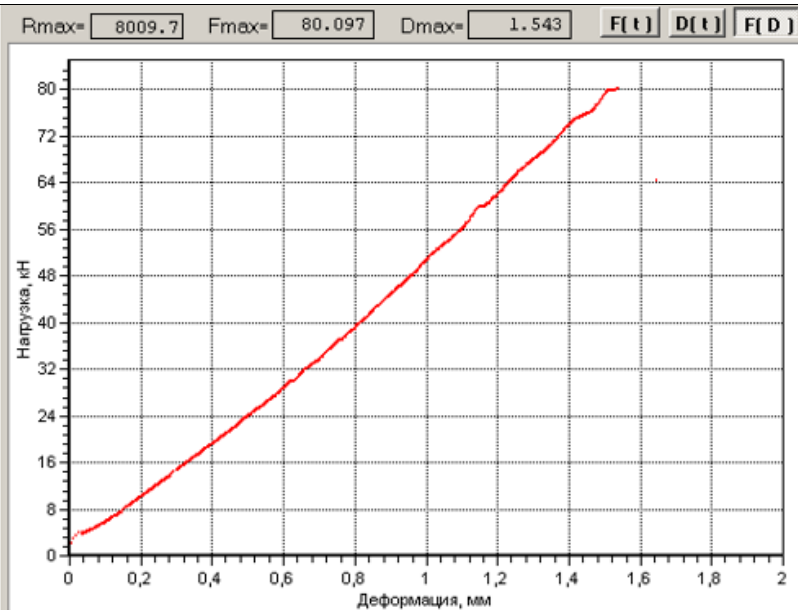
68 B



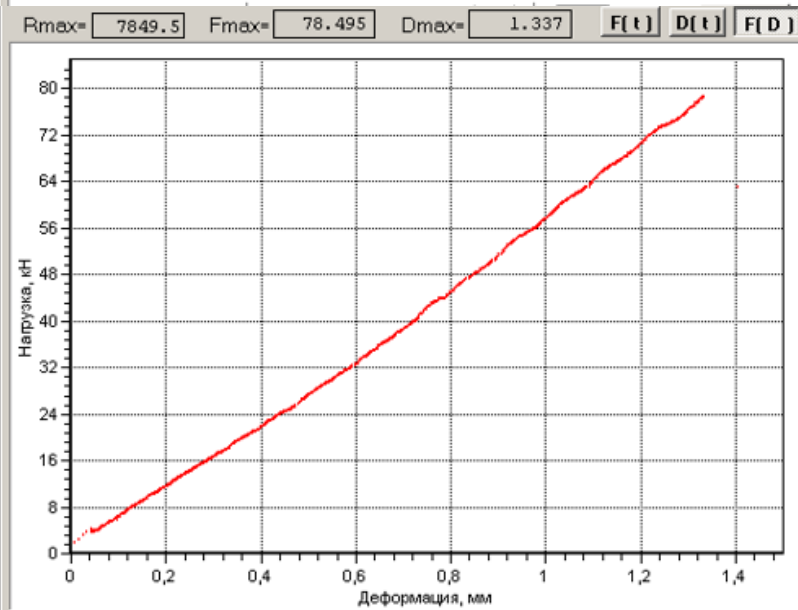
69 B



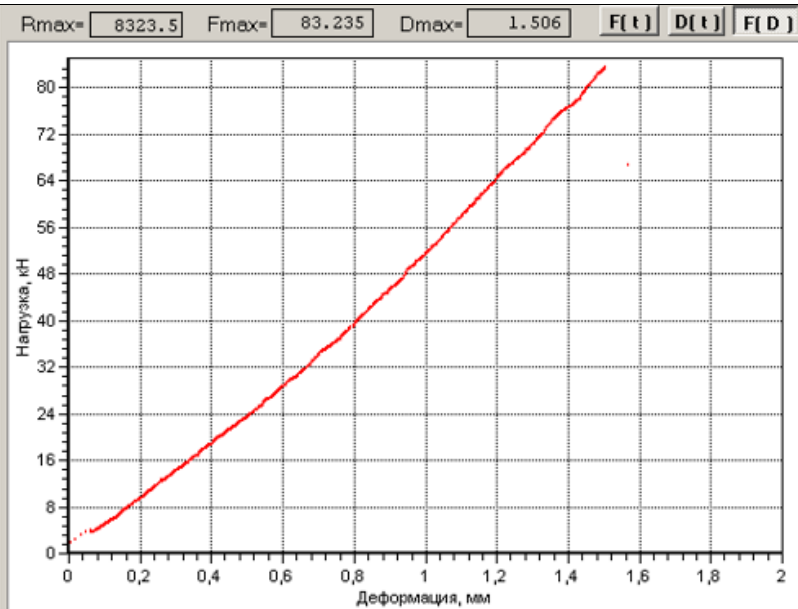
70 В



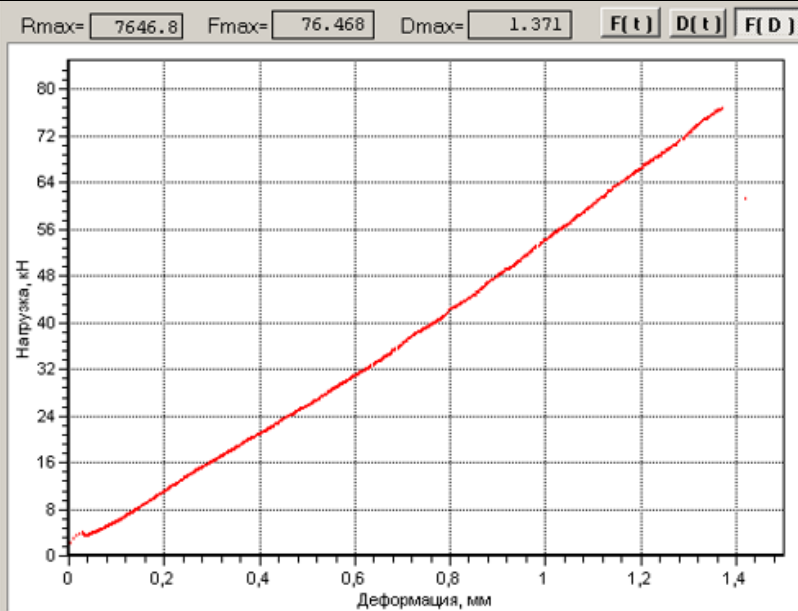
71 В



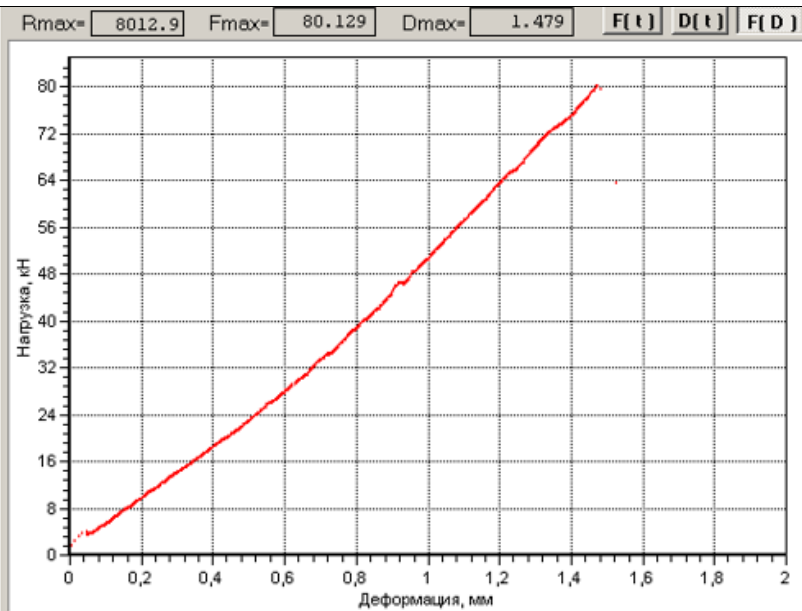
72 В



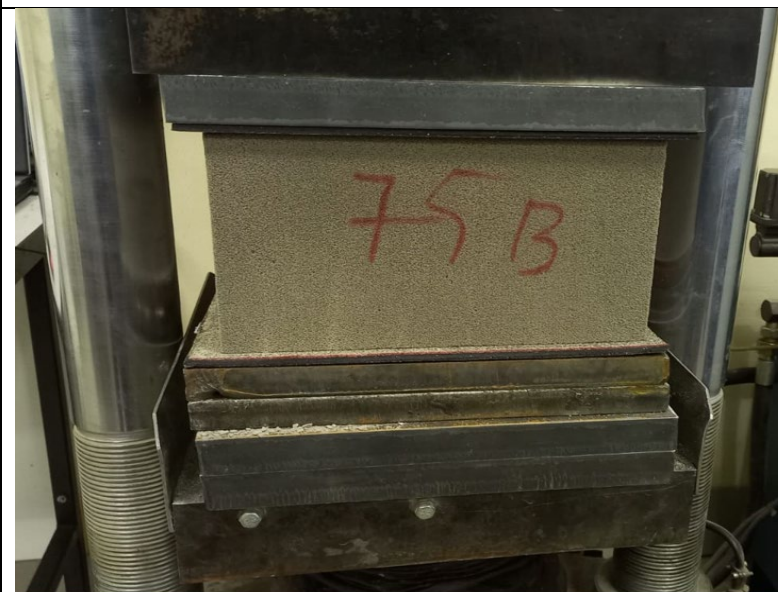
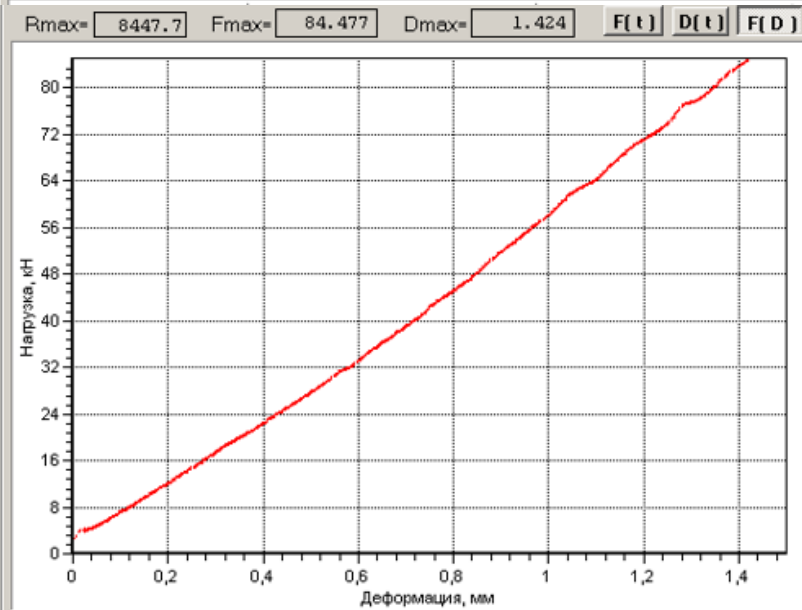
73 В



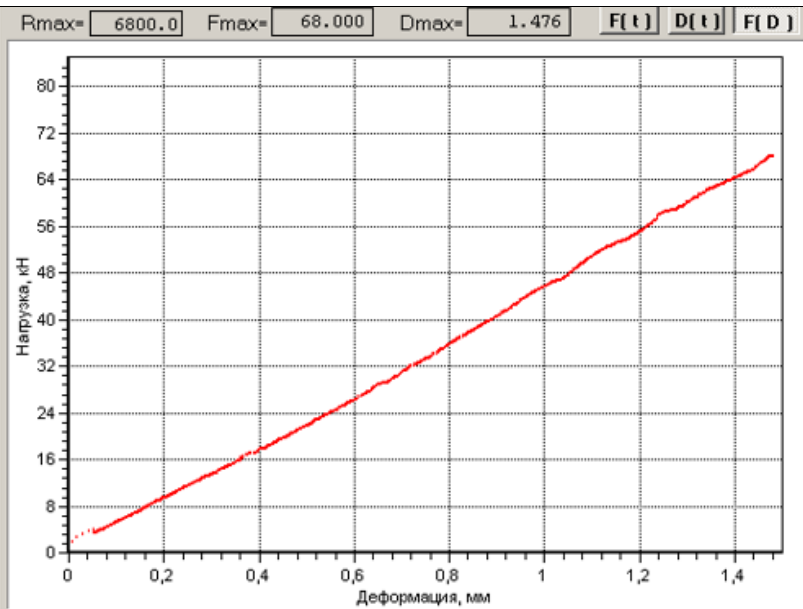
74 B



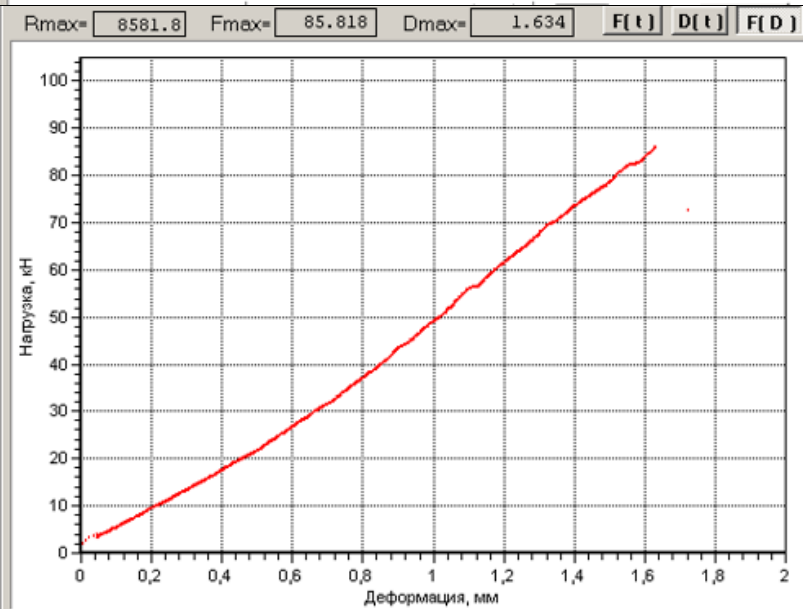
75 B



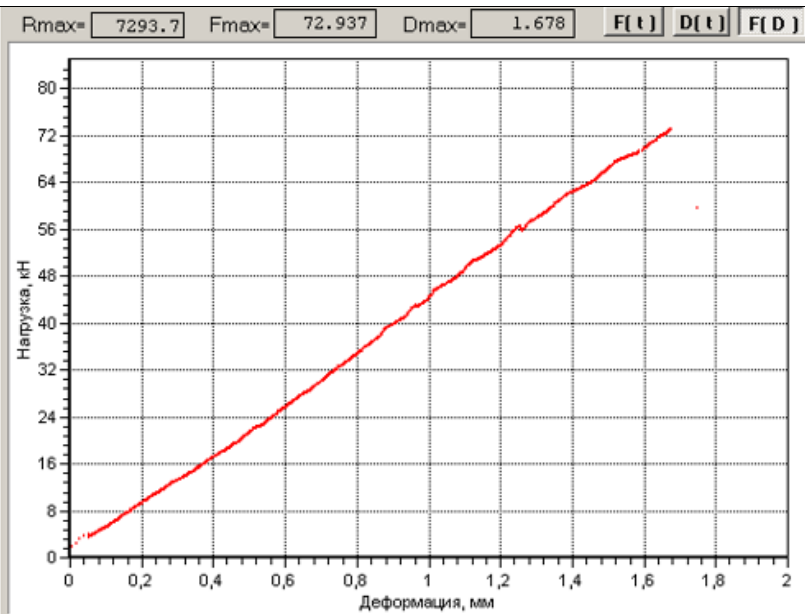
76 В



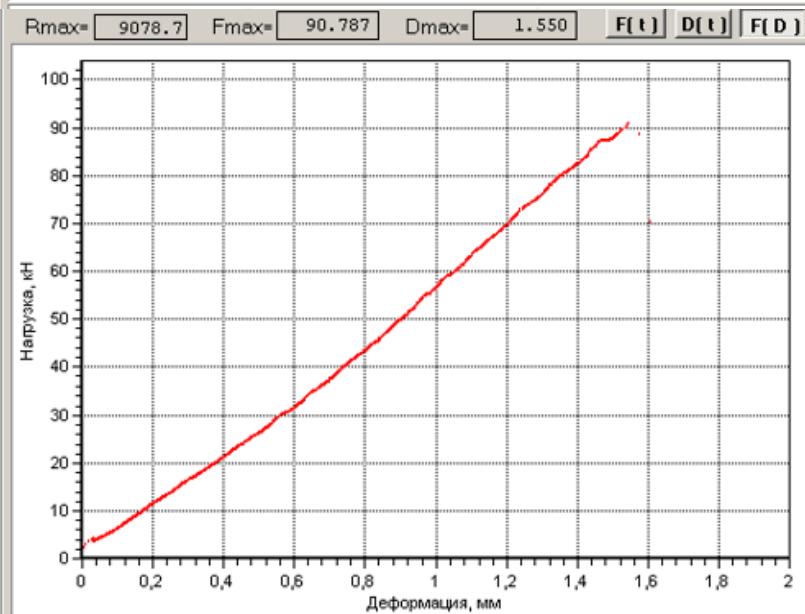
77 В



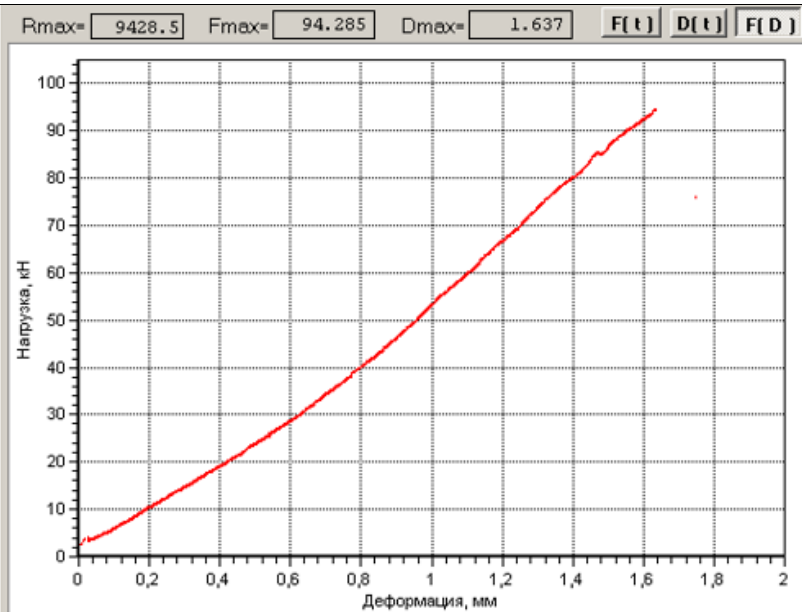
78 В



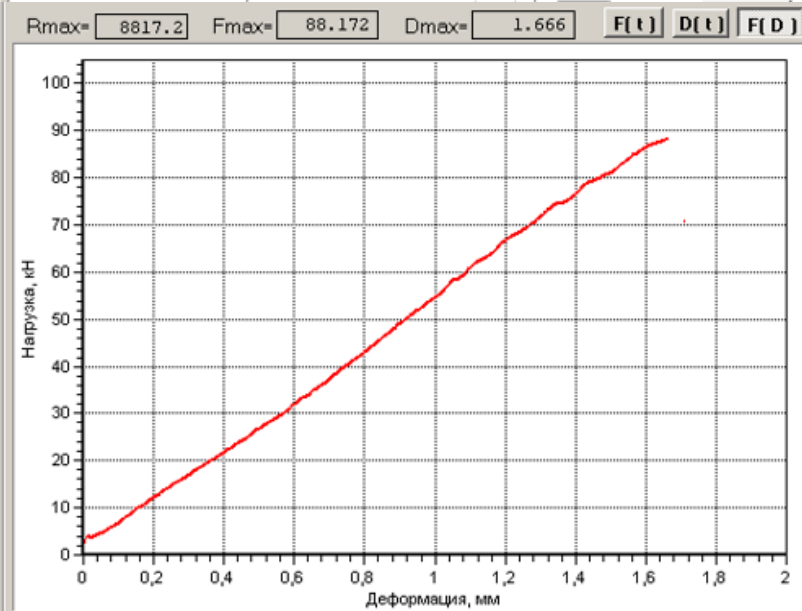
79 В



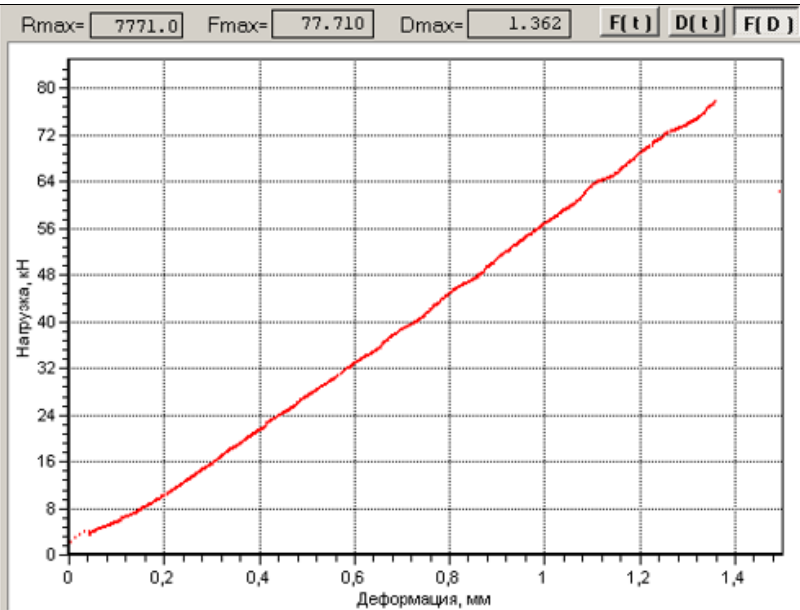
80 В



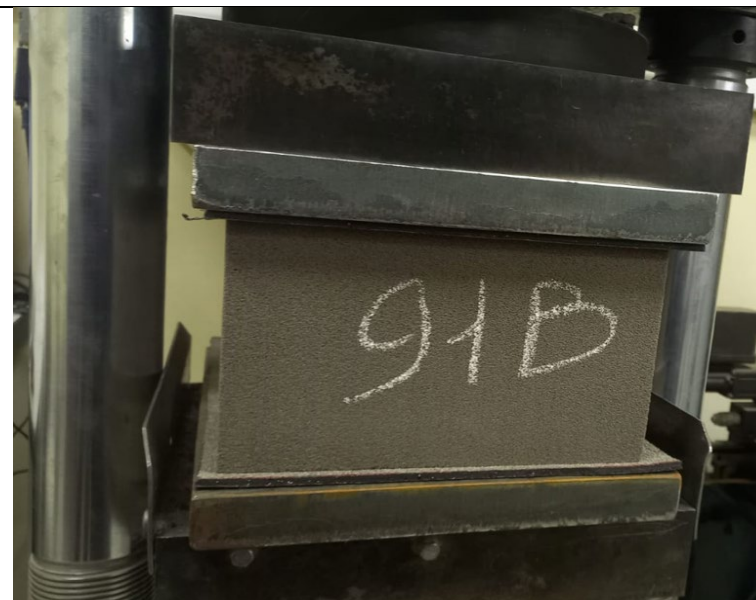
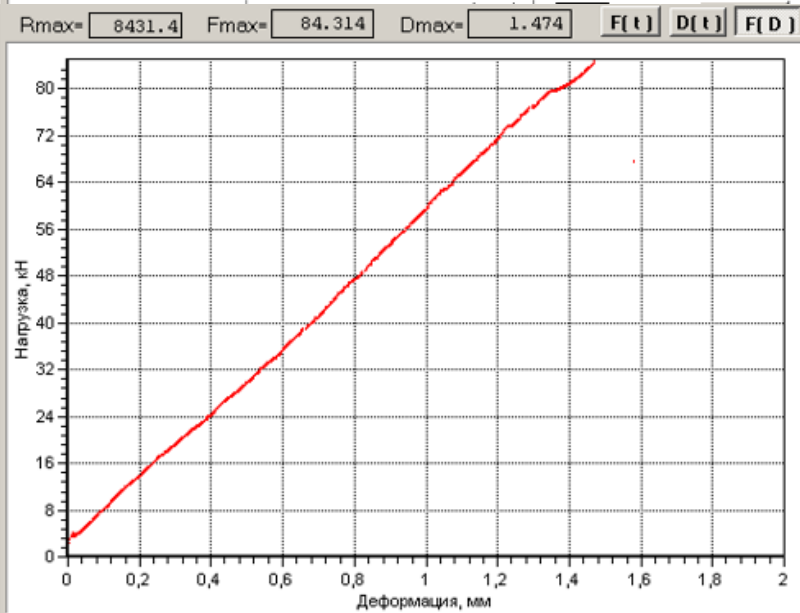
80 С



85 C



91 B



95 В

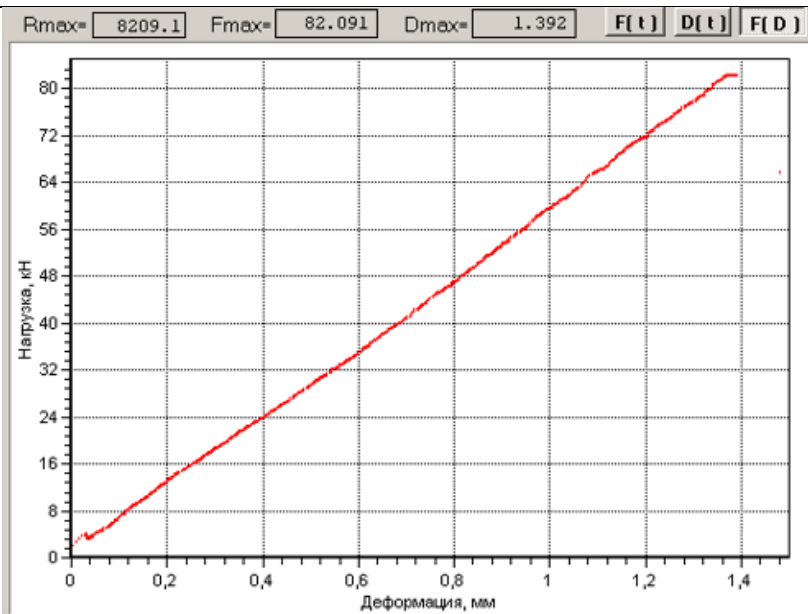
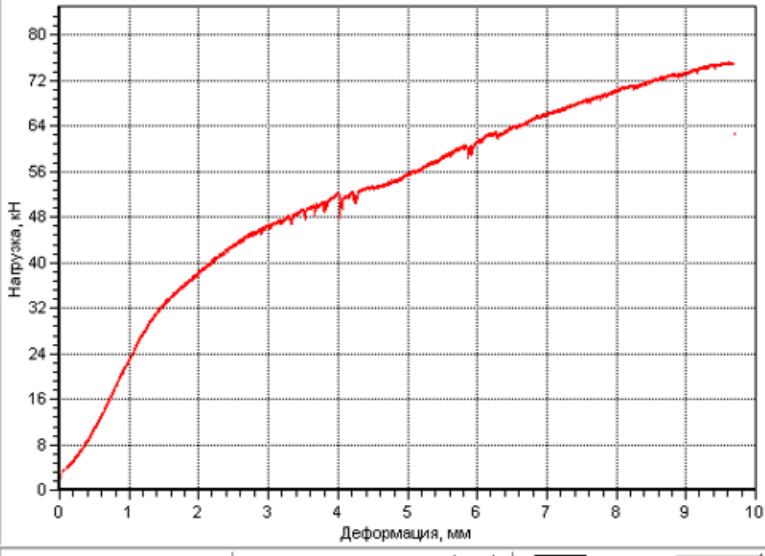
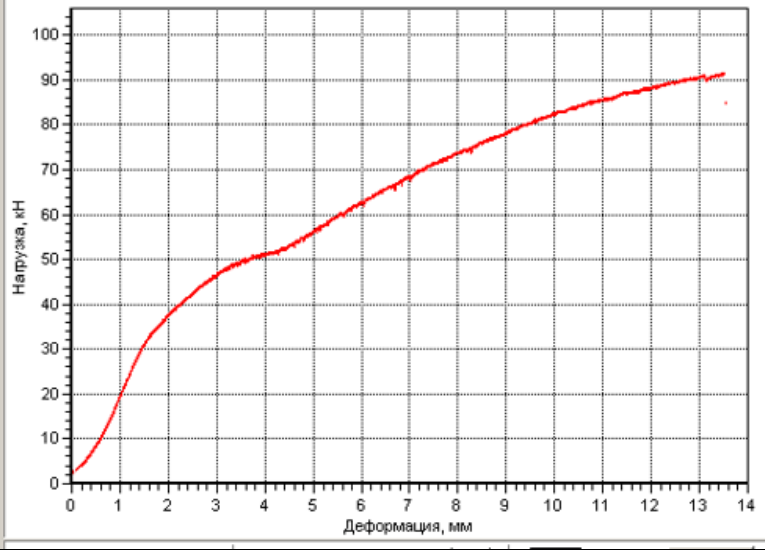
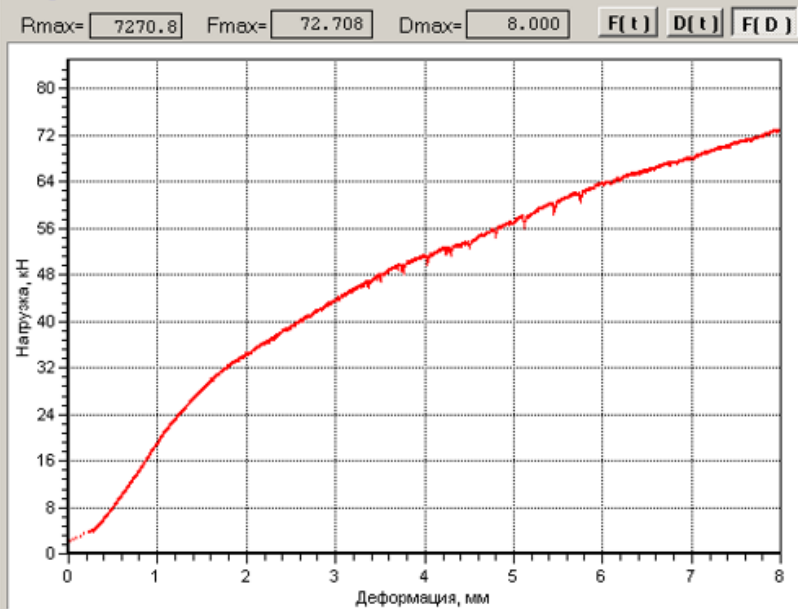


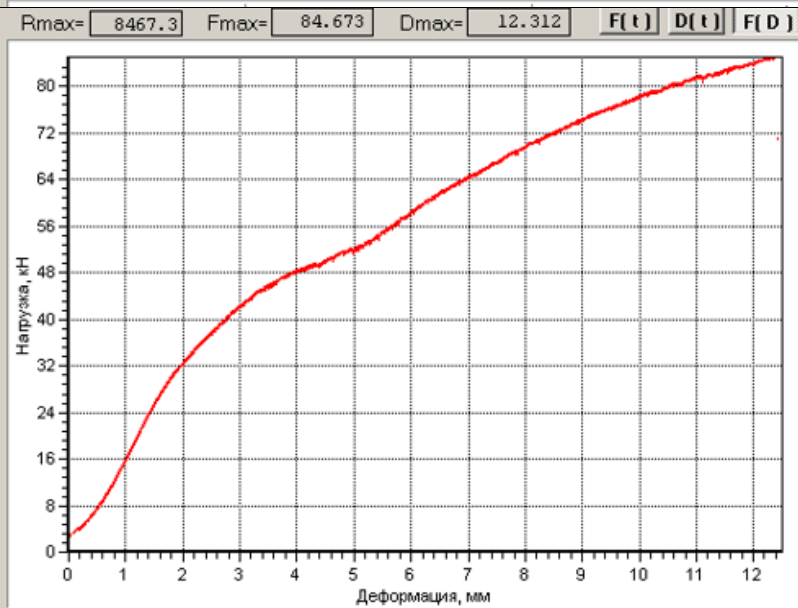
Таблица 12 – Графики измерения силы сжатия и деформации кладки из пеностекла НЕОПОРМ® D130 (минус 190⁰С)

Маркировка	Образцы кладки в три слоя из пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 70 мм, охлажденные до температуры менее минус 190 ⁰ С	
66 А 67 А 68 А	Rmax= 7493.1 Fmax= 74.931 Dmax= 9.631 F(t) D(t) F(D)  	
69 А 71 А 72 А	Rmax= 9131.0 Fmax= 91.310 Dmax= 13.541 F(t) D(t) F(D)  	

73 A 65 D 86 A



66 D 67 D 68 D



69 D 70 D 71 D

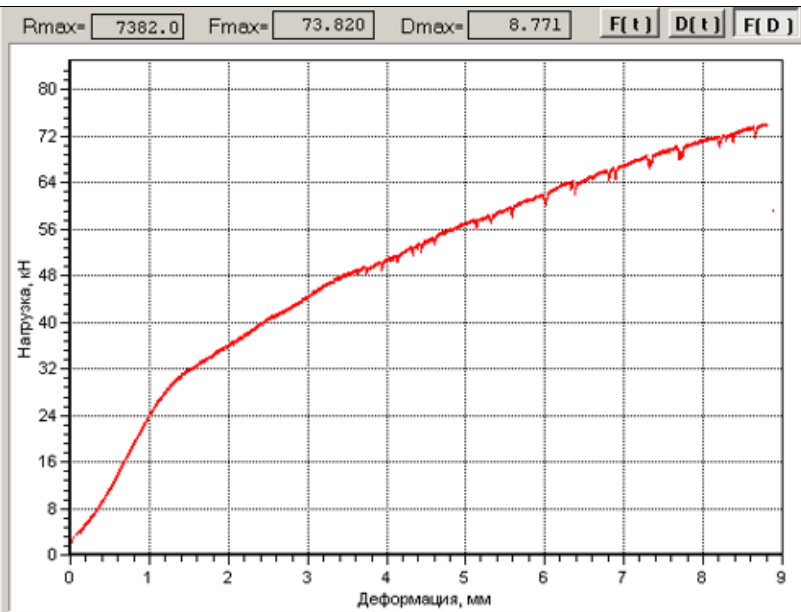
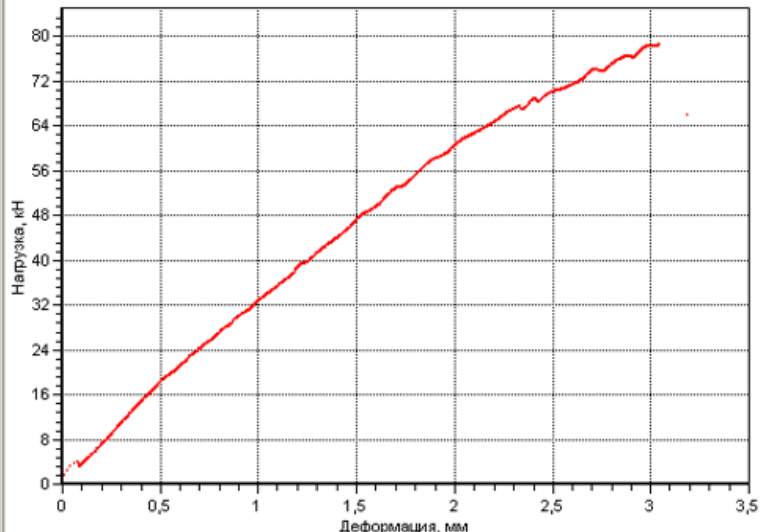
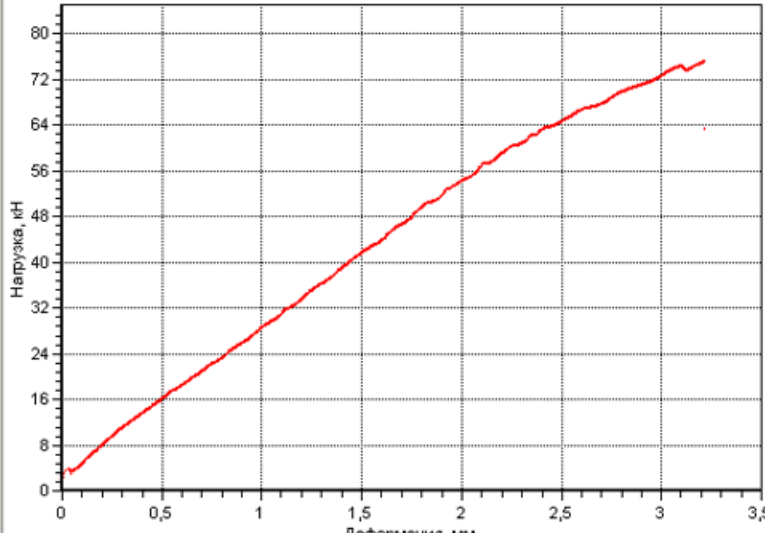
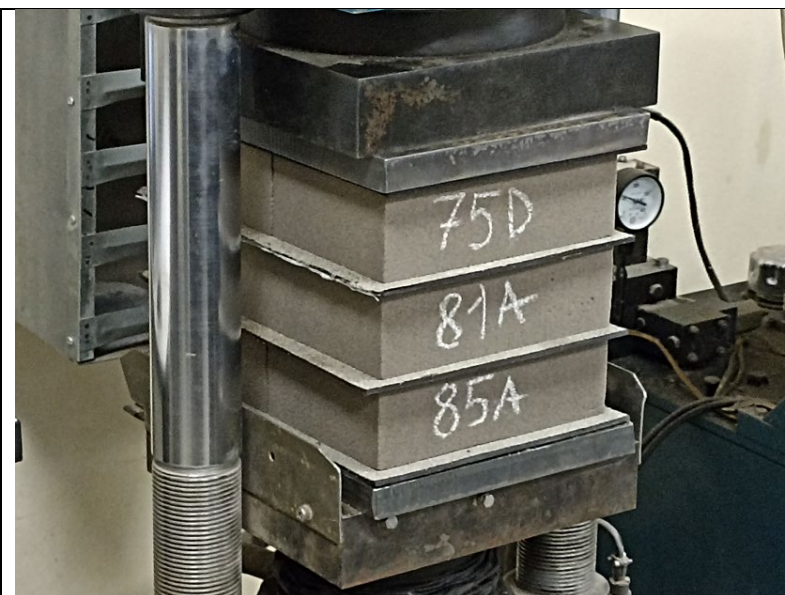
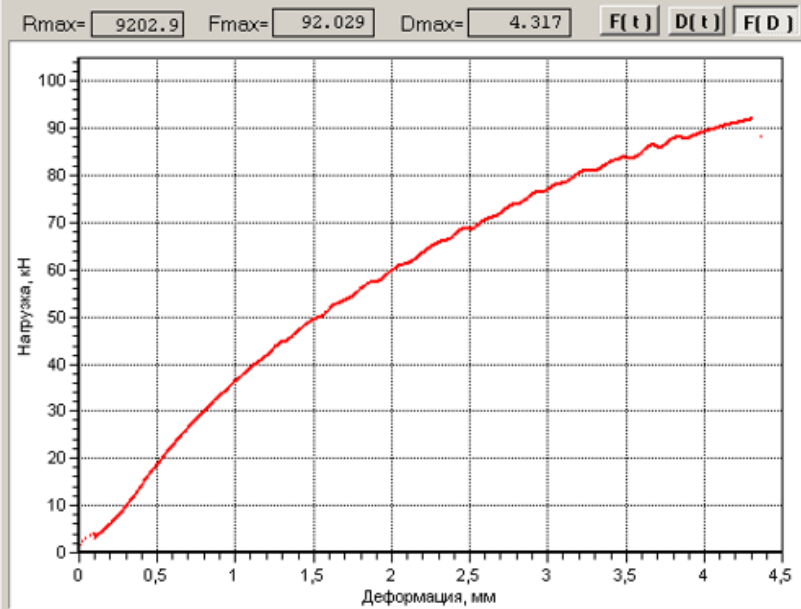


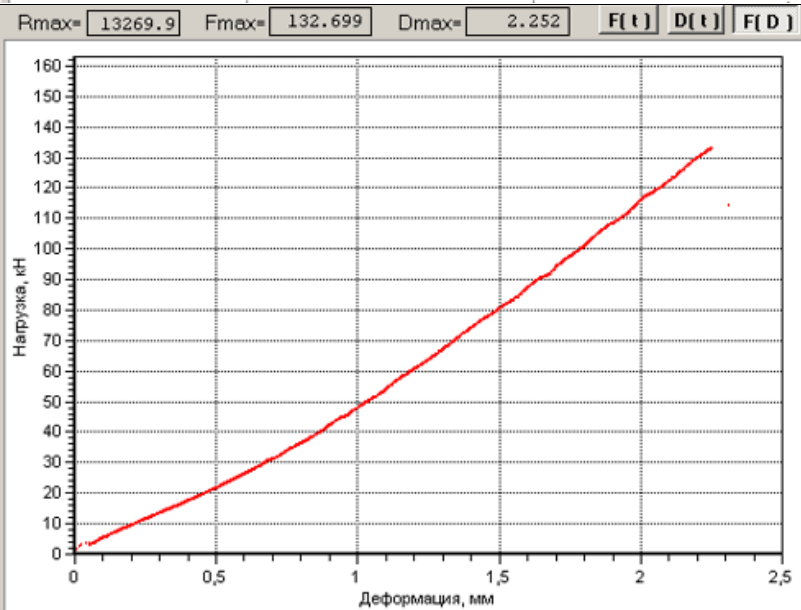
Таблица 13 – Графики измерения силы сжатия и деформации кладки из пеностекла НЕОПОРМ® D130 (при 23⁰С)

Маркировка	Образцы кладки в три слоя из пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 70 мм, при температуре 23 ⁰ С	
74 А 75 А 76 А	Rmax= 7836.4 Fmax= 78.364 Dmax= 3.049 F[t] D[t] F[D] 	
78 А 79 А 80 А	Rmax= 7509.5 Fmax= 75.095 Dmax= 3.225 F[t] D[t] F[D] 	

81 A 85 A 75 D



72 D 73 D 74 D



76 D 77 D 78 D

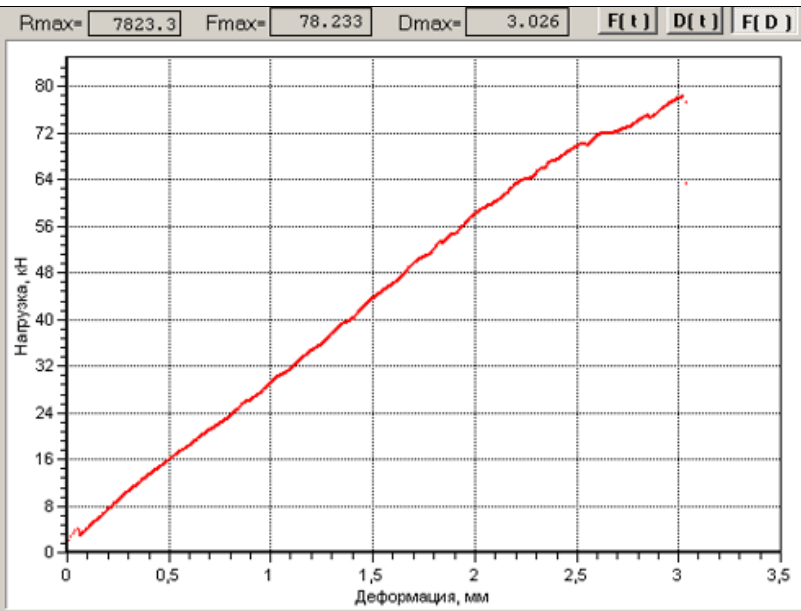
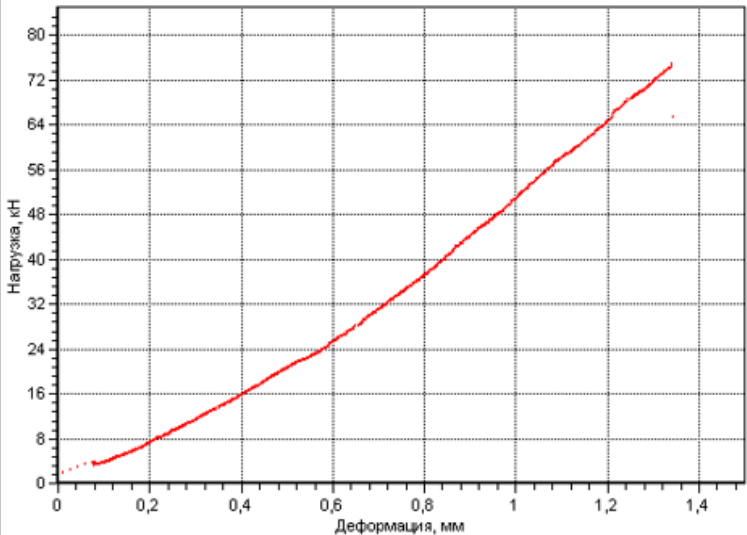
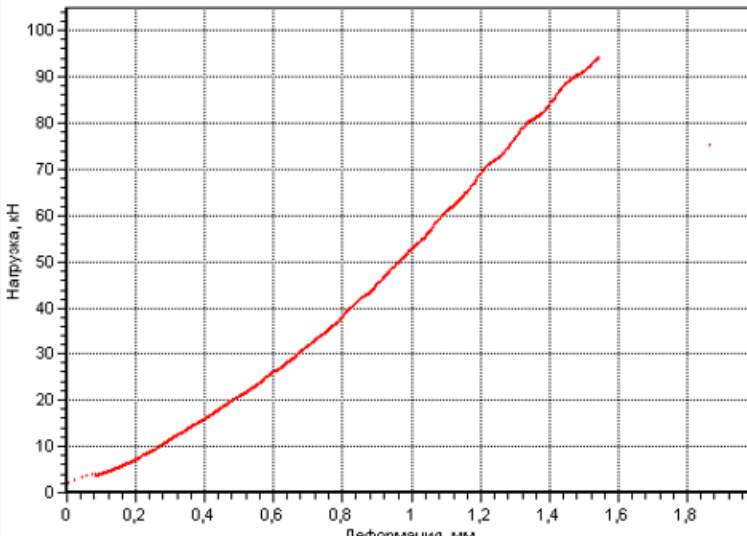
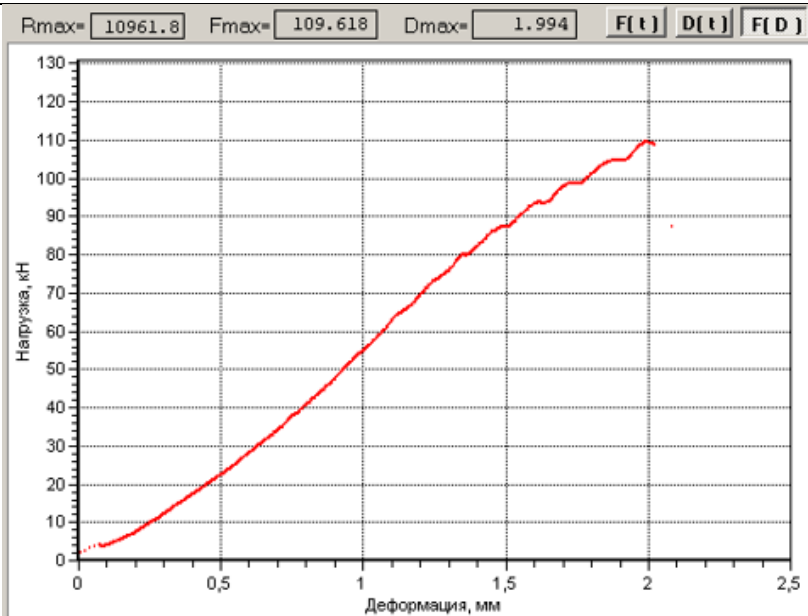


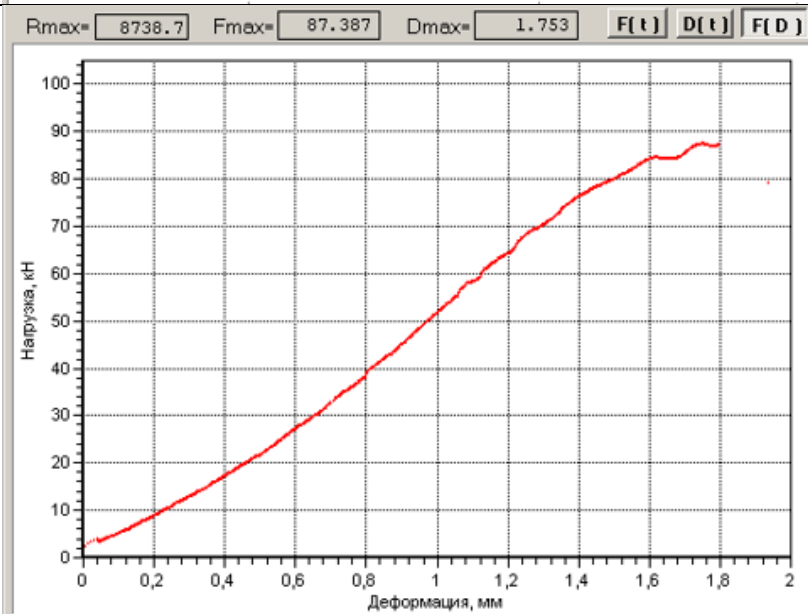
Таблица 14 – Графики измерения силы сжатия и деформации пеностекла НЕОПОРМ® D130 (для масштабных коэффициентов)

Маркировка	Образцы пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 70 мм, при температуре 23 ⁰ С (для масштабных коэффициентов)	
83 В	Rmax= 7470.2 Fmax= 74.702 Dmax= 1.344 F(t) D(t) F(D)  	
86 В	Rmax= 9408.9 Fmax= 94.089 Dmax= 1.547 F(t) D(t) F(D)  	

93 D



96 A



97 D

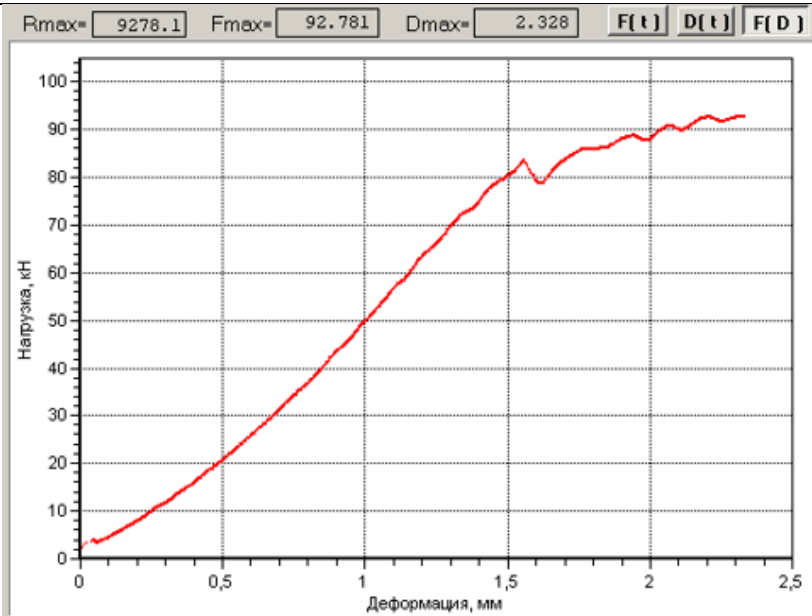
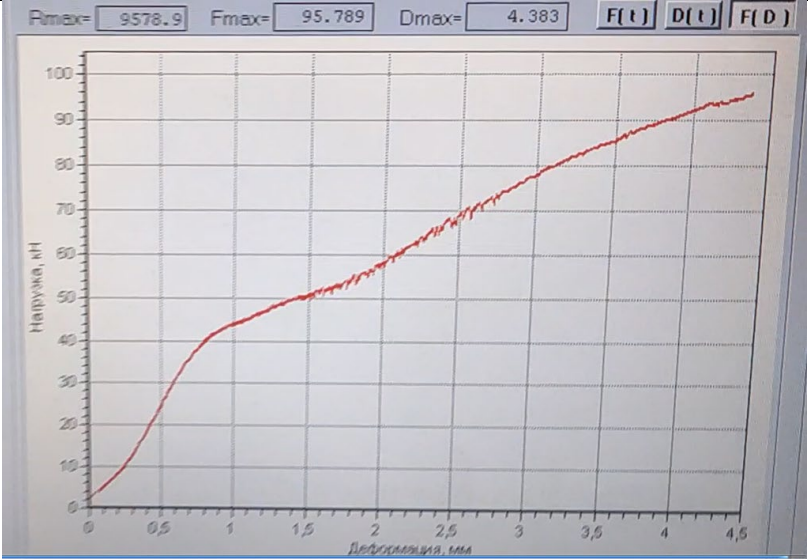
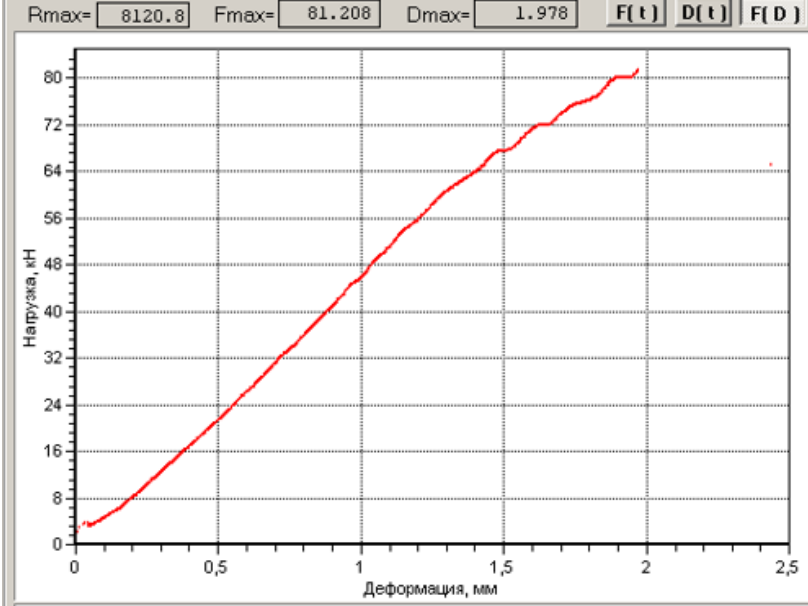
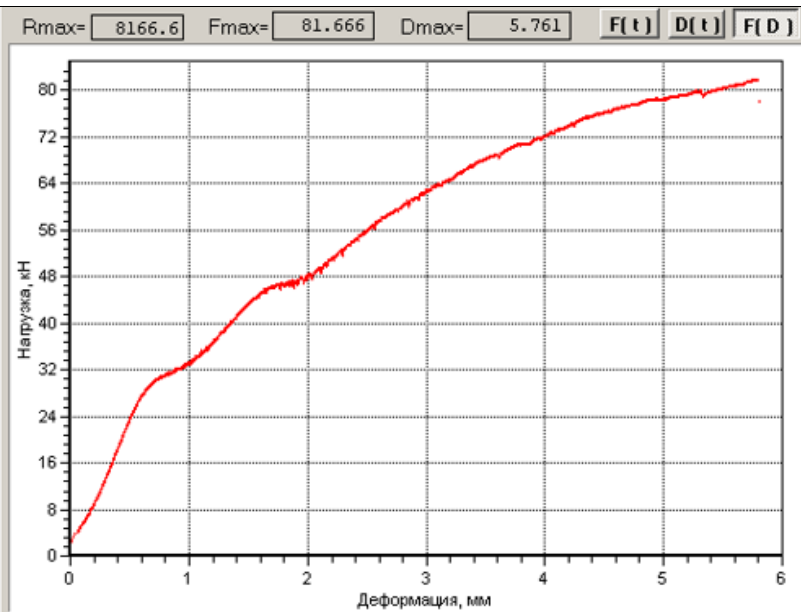


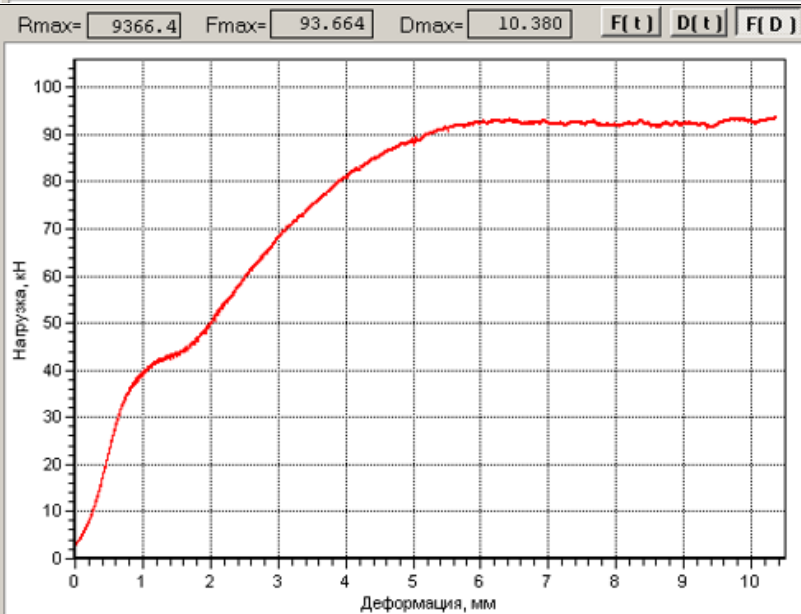
Таблица 15 – Графики измерения силы сжатия и деформации пеностекла НЕОПОРМ® D130 (для масштабных коэффициентов)

Маркировка	Образцы пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 70 мм, при температуре менее минус 190 ⁰ С (для масштабных коэффициентов)	
86 С		
90 С		

92 D



93 A



96 D

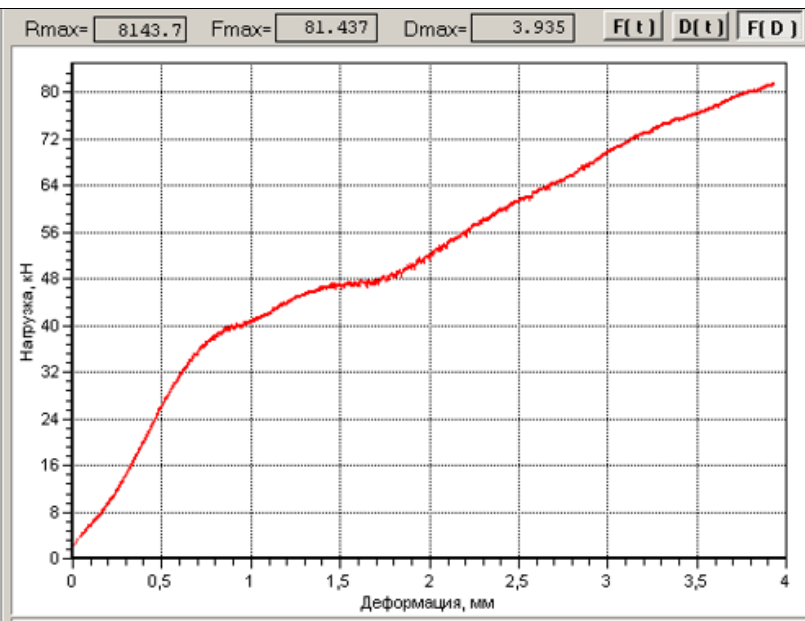
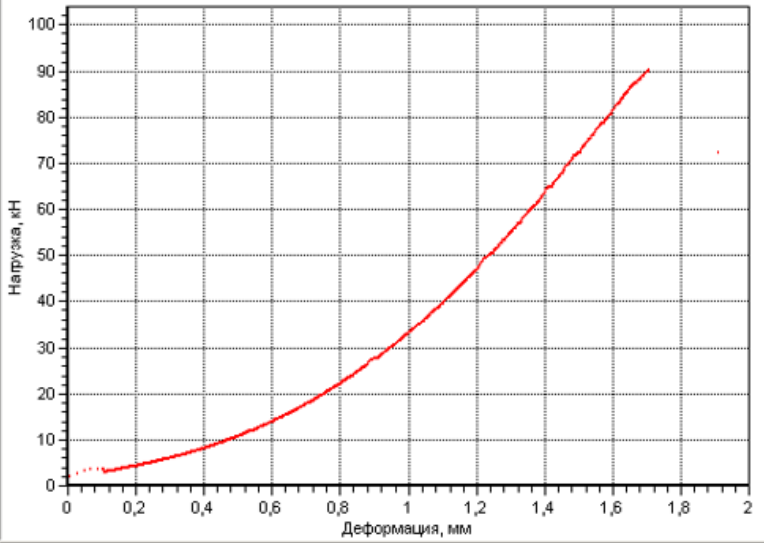
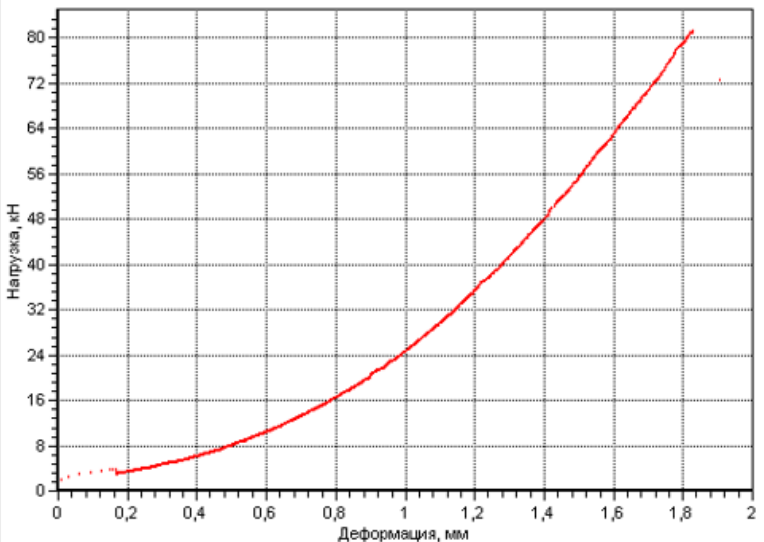
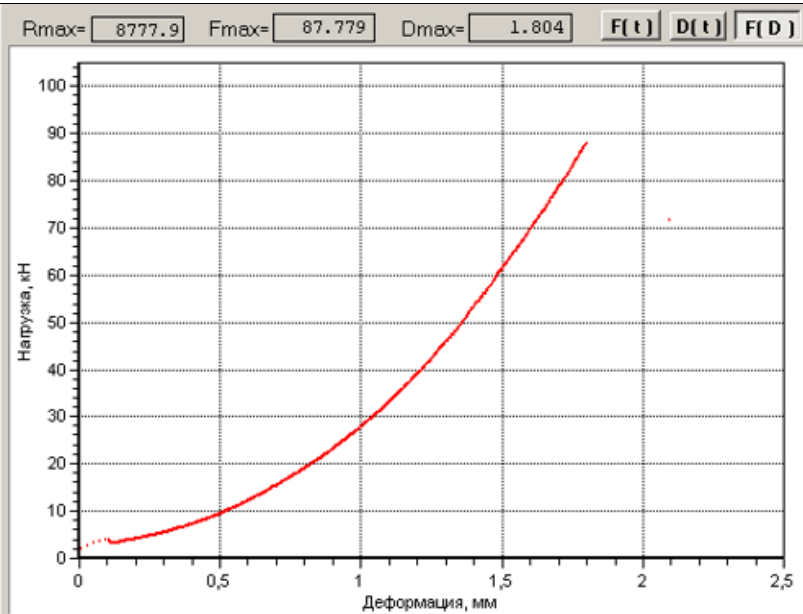


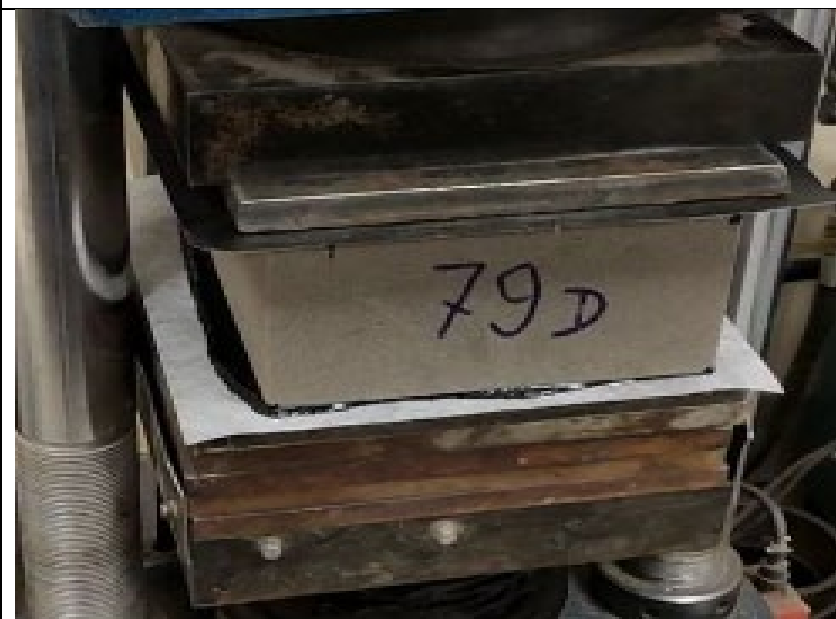
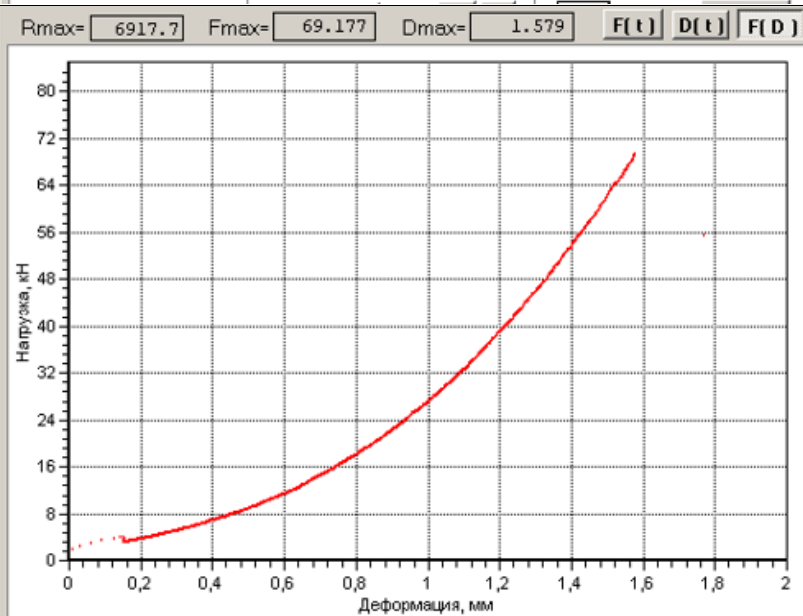
Таблица 16 – Графики измерения силы сжатия и деформации пеностекла НЕОПОРМ® D130 (по ГОСТ EN 826)

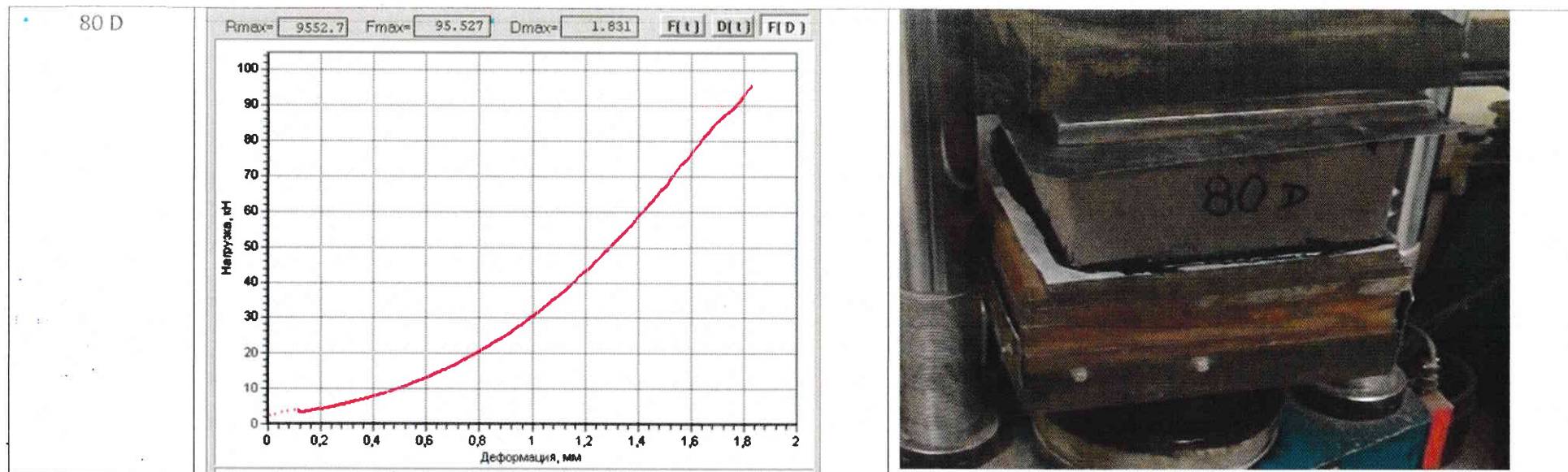
Маркировка	Контрольные образцы пеностекла НЕОПОРМ® D130 толщиной 130 мм, при температуре 23 ⁰ С (на поверхности образцов нанесена обмазка в соответствии с ГОСТ EN 826)																							
82 А	Rmax= 9013.3 Fmax= 90.133 Dmax= 1.707 F(t) D(t) F(D) <table><tr><th>Deformation (mm)</th><th>Load (kN)</th></tr><tr><td>0.0</td><td>0</td></tr><tr><td>0.2</td><td>5</td></tr><tr><td>0.4</td><td>10</td></tr><tr><td>0.6</td><td>15</td></tr><tr><td>0.8</td><td>22</td></tr><tr><td>1.0</td><td>32</td></tr><tr><td>1.2</td><td>45</td></tr><tr><td>1.4</td><td>60</td></tr><tr><td>1.6</td><td>78</td></tr><tr><td>1.7</td><td>90</td></tr></table>	Deformation (mm)	Load (kN)	0.0	0	0.2	5	0.4	10	0.6	15	0.8	22	1.0	32	1.2	45	1.4	60	1.6	78	1.7	90	
Deformation (mm)	Load (kN)																							
0.0	0																							
0.2	5																							
0.4	10																							
0.6	15																							
0.8	22																							
1.0	32																							
1.2	45																							
1.4	60																							
1.6	78																							
1.7	90																							
83 А	Rmax= 8117.5 Fmax= 81.175 Dmax= 1.833 F(t) D(t) F(D) <table><tr><th>Deformation (mm)</th><th>Load (kN)</th></tr><tr><td>0.0</td><td>0</td></tr><tr><td>0.2</td><td>2</td></tr><tr><td>0.4</td><td>4</td></tr><tr><td>0.6</td><td>6</td></tr><tr><td>0.8</td><td>10</td></tr><tr><td>1.0</td><td>16</td></tr><tr><td>1.2</td><td>24</td></tr><tr><td>1.4</td><td>36</td></tr><tr><td>1.6</td><td>52</td></tr><tr><td>1.8</td><td>80</td></tr></table>	Deformation (mm)	Load (kN)	0.0	0	0.2	2	0.4	4	0.6	6	0.8	10	1.0	16	1.2	24	1.4	36	1.6	52	1.8	80	
Deformation (mm)	Load (kN)																							
0.0	0																							
0.2	2																							
0.4	4																							
0.6	6																							
0.8	10																							
1.0	16																							
1.2	24																							
1.4	36																							
1.6	52																							
1.8	80																							

84 A



79 D





При испытаниях присутствовали:

Руководитель испытательной
лаборатории НИИСФ РААСН

Бессонов И.В.

Ведущий инженер
НИИСФ РААСН

Говряков И.С.

Главный технолог
ООО «Навитэс»

Глухоедов В.В.

Руководитель ОРП
ООО «Навитэс»

Доровин А.И.