

ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

«Утверждаю»

Директор по науке-
Первый заместитель генерального директора
ОАО «Союздорнии»



В.М. Юмашев

Отчет

о научно-исследовательской работе:

*Экспериментальное определение модуля упругости
экструзионного пенополистирола «Экстрол» марки 45*

Научный руководитель работы, заведующий
лабораторией дорожных одежд, д.т.н., проф.

В.Д.Казарновский

Ответственный исполнитель от лаборатории
дорожных одежд, вед.н.с., к.т.н.

Е.С.Пшеничникова

БАЛАШИХА, 2006

Содержание

	Стр.
Список исполнителей	3
1. Общие положения	4
2. Нормативные ссылки	4
3. Проведение испытаний	4
3.1. Порядок проведения испытаний.	4
3.2. Результаты испытаний	5
3.3. Обработка результатов и определение модуля упругости	9
Приложение	13

Список исполнителей

Зав.лаб. дорожных одежд,
д.т.н., проф.
Ведущий научный сотрудник,
к.т.н.

Дополнительно в работе участвовали:
Инженер
Зав. машинным залом

В.Д.Казарновский (общее руководство)

Е.С.Пшеничникова
(общее руководство, проведение
испытаний, составление отчета)

О.В.Гавриленко (Проведение испытаний)

А.Н.Ульянов (Проведение испытаний)

В отечественной практике дорожного строительства дорожную одежду рассчитывают по трем критериям, один из которых – упругий прогиб. Расчет сводится к сравнению требуемого модуля упругости дорожной одежды, определенного с учетом перспективной интенсивности движения, с общим модулем упругости дорожной одежды, который вычисляют путем приведения всех конструктивных слоев с учетом их толщин и модулей, к общему. Методика расчета позволяет также, зная требуемый модуль всей конструкции дорожной одежды, назначить необходимую толщину какого-либо слоя.

Модуль упругости представляет собой отношение приращения нагрузки к вызванной ей упругой составляющей относительной деформации.

Для применения какого-либо материала в дорожной одежде необходимо экспериментальное определение его модуля упругости.

В настоящее время нормативные документы по методике определения модуля упругости пенополистиролов отсутствуют, поэтому настоящая работа представляет собой исследование, включающее определение модуля упругости материала различными методами, анализ результатов и назначение на его основе расчетного значения модуля упругости материала.

2. Нормативные ссылки.

1. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний.
2. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
3. ГОСТ 20522-96. Методы статистической обработки результатов испытаний.

3. Проведение испытаний

3.1. Порядок проведения испытаний.

Испытания были проведены на универсальной машине ZDM. Образцы отвечали требованиям [1], состояли из двух половинок размером 100x100x54 мм, уложенных горизонтально одна на другую (рис.1). Поверхность половинок была тщательно выровнена, они были притерты друг к другу. Площадь штампа, передающего нагрузку, соответствовала площади образца (100 см²).

Испытание заключалось в сжатии образца с постоянной скоростью, величину нагрузки при этом фиксировали и регистрировали.

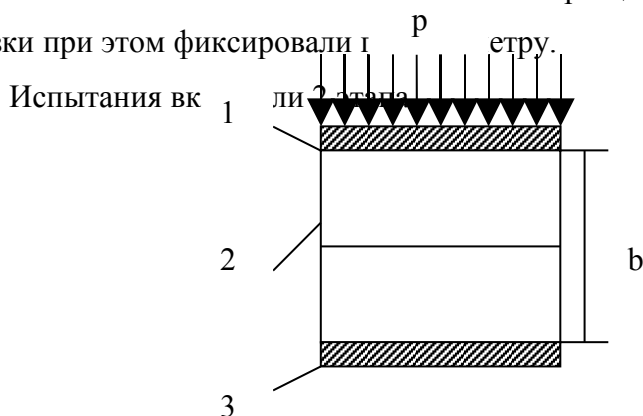


Рис.1. Схема испытания образца. p – действующая нагрузка; 1 – штамп; 2 – образец высотой b , состоящий из 2-х половинок; 3 – жесткое основание.

На первом этапе определяли предел пропорциональности по [2], т.е. величину нагрузки, до достижения которой зависимость деформации от нагрузки можно считать линейной. Показания снимали при каждом возрастании нагрузки на 50 кг при постоянной скорости нарастания деформаций. Испытания прекращали после достижения предела пропорциональности, т. е. когда наблюдалось значительное возрастание деформаций без существенного увеличения нагрузки.

На втором этапе для выделения упругой составляющей полной деформации выполняли нагружение и разгрузку в пределах линейной зависимости деформации от нагрузки.

Это испытание выполняли двумя способами.

В соответствии с первым из них нагрузку постепенно увеличивали от 0 до значения, близкого к пределу текучести, а затем выполняли с той же скоростью разгрузку образца. Значения деформации фиксировали при увеличении нагрузки на 10 кг. Испытания проводили при двух скоростях нарастания деформаций.

В соответствии со вторым способом нагрузку подавали ступенями, на каждой ступени выполняли разгрузку. При разгрузке на последней ступени нагружения фиксировали деформацию при уменьшении нагрузки на каждые 10 кг.

3.2. Результаты испытаний.

На первом этапе испытаний было установлено, что предел пропорциональности составляет 2 кгс/см^2 (рис.2). На втором этапе были проведены испытания 4-х образцов при постепенном увеличении нагрузки до $1,6 - 1,8 \text{ кгс/см}^2$ и последующей разгрузке. Два образца испытали при скорости деформирования $0,5 \text{ мм/мин}$ (рис. 3) и 2 образца - при скорости 3 мм/мин (рис.4).

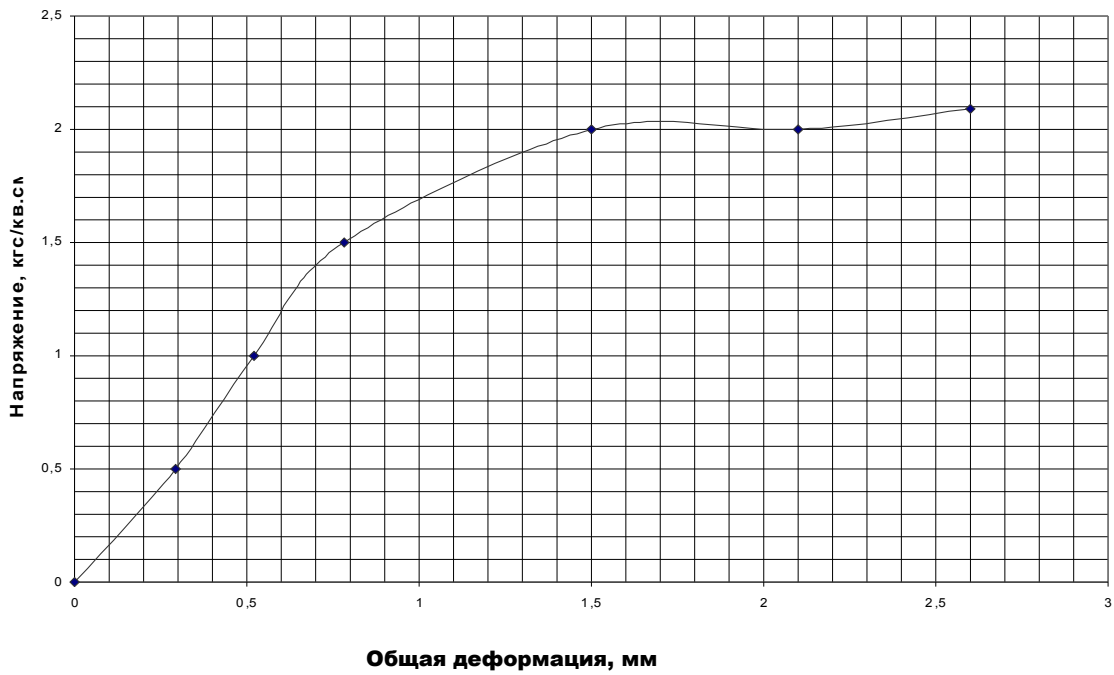


Рис.2. Определение предела пропорциональности материала «Экстрол»

Деформацию фиксировали в процессе нагружения при достижении нагрузки $0,5 \text{ кгс/см}^2$ и далее при каждом ее увеличении на $0,1 \text{ кгс/см}^2$, при разгрузке деформацию фиксировали при тех же значениях нагрузки, в результате получали 2 кривые: нагрузки и разгрузки. Еще два образца были испытаны при циклической нагрузке $0,50 \text{ кгс/см}^2$; $0,8 \text{ кгс/см}^2$; $1,2 \text{ кгс/см}^2$; $1,6 \text{ кгс/см}^2$ (рис 5). При разгрузке на последней ступени ($1,6 \text{ кгс/см}^2$) значения деформации фиксировали при каждом уменьшении нагрузки на $0,1 \text{ кгс/см}^2$ (рис.

б), т.о. были получены кривые разгрузки.

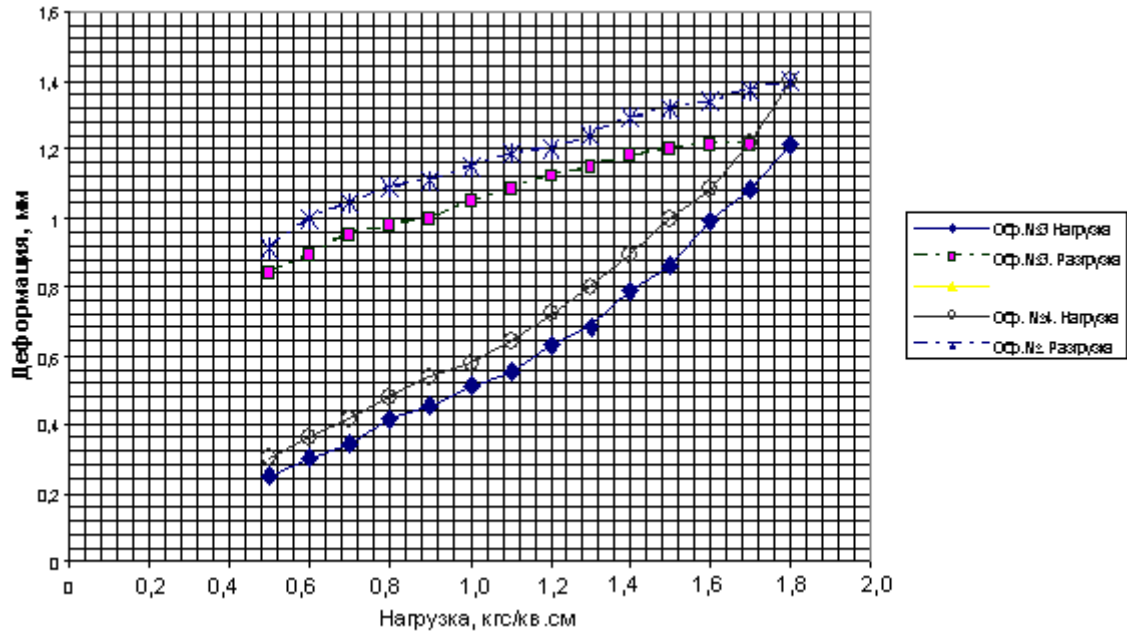


Рис. 3. Зависимость общей деформации от нагрузки при постепенном нагружении со скоростью 0,5 мм/мин.

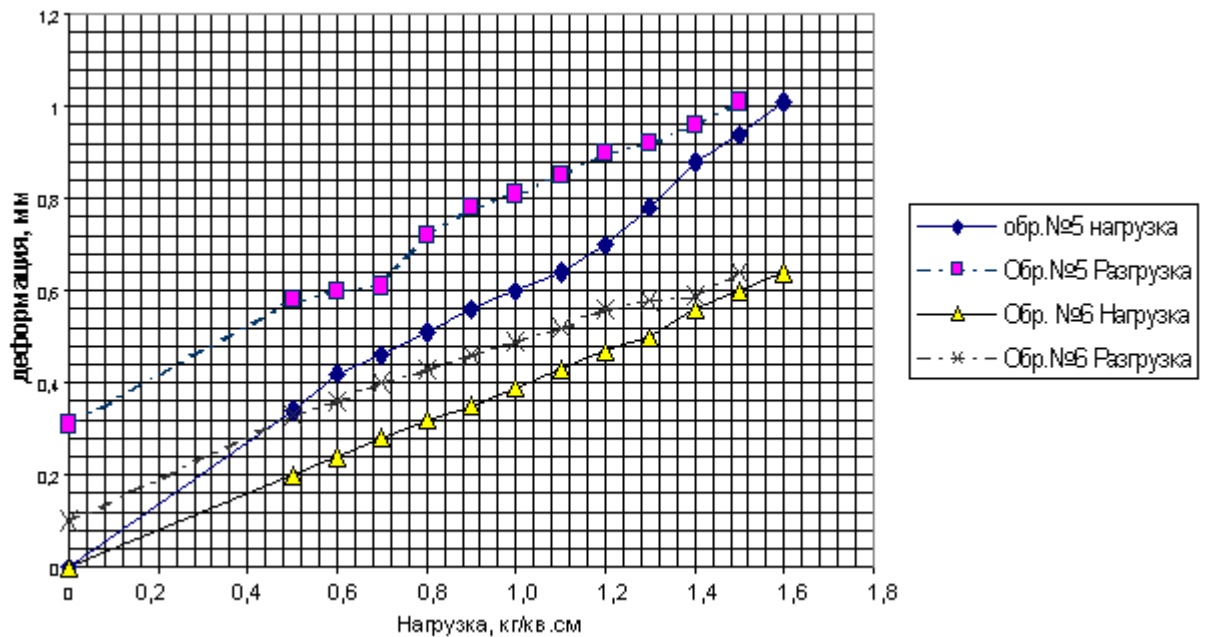


Рис. 4. Зависимость общей деформации от нагрузки при постепенном нагружении со скоростью 3 мм/мин

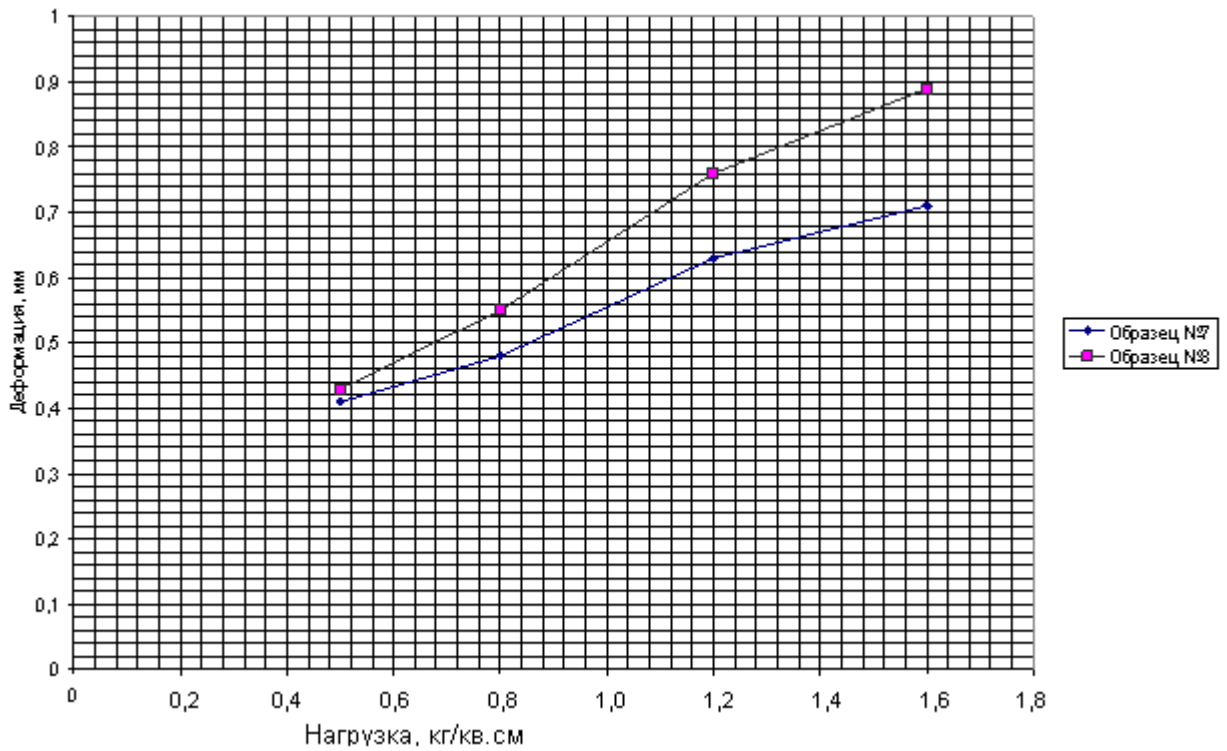


Рис.5. Зависимость упругой деформации от нагрузки при циклическом нагружении.

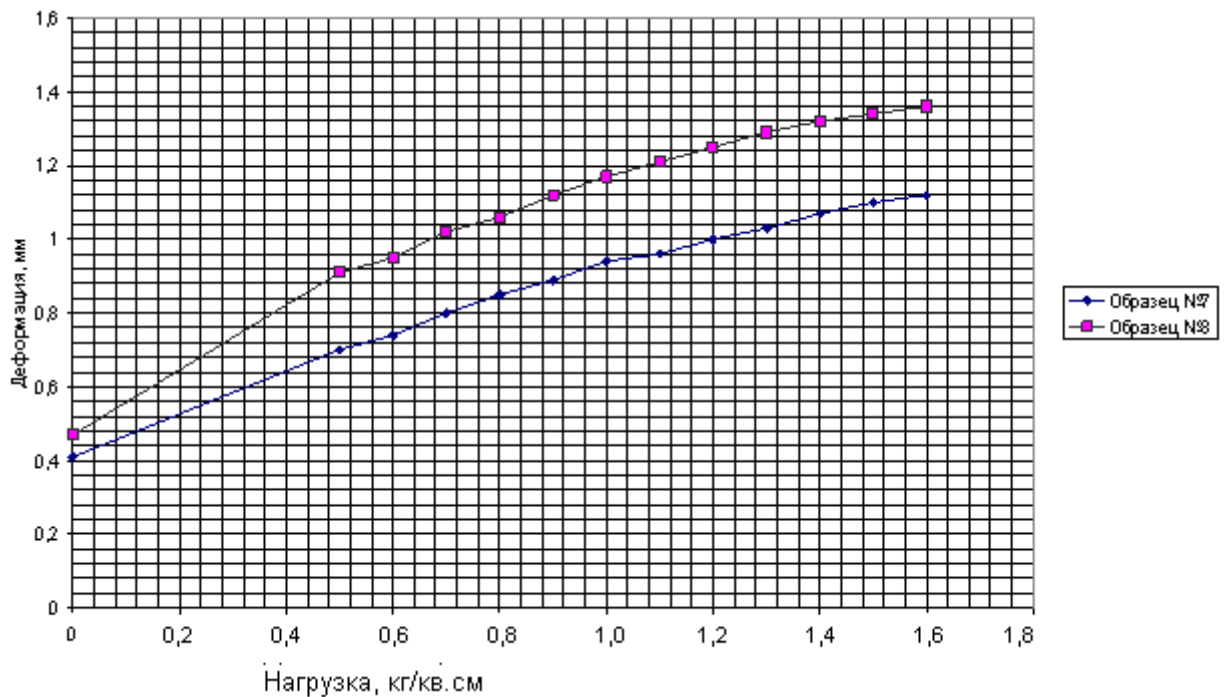


Рис. 6. Зависимость деформации от нагрузки при постепенном разгрузении образцов.

3.3. Обработка результатов и определение расчетного значения модуля упругости.

Результаты испытаний, выполненных при постепенном нагружении, были обработаны в соответствии с [3] в следующем порядке.

1. Для каждого испытания по формуле (1) вычисляли значение модуля упругости E_i в i -й точке

$$E_i = \frac{(\sigma_n - \sigma_i)b}{(l_n - l_i)} \quad (1)$$

где σ_n , σ_i - соответственно максимальная (конечная) нагрузка и нагрузка в i -й точке, кг/см²;

l_n , l_i - соответственно максимальная (конечная) упругая деформация и упругая деформация в i -й точке, мм;

b – высота образца

2. По формуле (2) вычисляли нормативное значение модуля упругости E_n

$$E_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (2)$$

где n – число значений модуля упругости

3. По формуле (3) вычисляли среднеквадратическое отклонение характеристики

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_n - E_i)^2} \quad (3)$$

4. По формуле (4) вычисляли коэффициент вариации

$$V = \frac{S}{X_n} \quad (4)$$

5. По формуле (5) вычисляли показатель точности среднего значения ρ_α . Для двухсторонней доверительной вероятности 0,90 было принято значение коэффициента $t_\alpha = 1,90$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha V}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

6. По формуле (6) вычисляли коэффициент надежности

$$\gamma_g = \frac{1}{1 - \rho_\alpha} \quad (6)$$

7. По формуле (7) вычисляли расчетное значение модуля упругости образца

$$E_{\text{обр}} = \frac{E_n}{\gamma_g} \quad (7)$$

Результаты расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Скорость нарастания деформаций, мм/мин	0,5		3			
	3	4	5	6	7	8
№ образца						

Модуль упругости E_i , МПа	37,9	29,2	27,6	38,3	28,1	26,4
	40,5	33,0	26,3	38,6	28,4	26,3
	45,7	32,4	29,8	41,1	32,0	28,8
	46,9	34,3	32,4	43,2	36,0	34,1
	46,3	33,7	39,3	54,0	21,6	39,3
	58,2	40,5	43,2	43,2	16,6	54
	67,5	36,0	24,7	32,0	14,4	12,7
X_n	49	34,16	31,9	41,5	25,3	31,7
S	10,3	3,48	6,9	6,7	8,0	12,0
Коэффициент вариации V_i	0,21	0,10	0,22	0,16	0,32	0,39
t_α	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Показатель точности среднего значения ρ_α	0,15	0,08	0,16	0,12	0,23	0,28
Коэффициент надежности γ_g	1,18	1,09	1,19	1,14	1,30	1,39
Расчетное значение модуля упругости по каждому образцу $E_{обр}$, МПа	41,5	31,4	26,8	36,4	19,5	22,8
Средние значения	36,4			26,4		

Модуль упругости при циклическом нагружении определяли в следующем порядке

1. Для каждого испытания по формуле (8) вычисляли значение модуля упругости E_i в i -й точке

$$E_i = \frac{(\sigma_{i+1} - \sigma_i)b}{l_{i+1} - l_i} \quad (8)$$

2. Далее статистическую обработку результатов выполняли по формулам (2) – (7).

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2

	№ образца	
	7	8
Модуль упругости E_i , МПа	46,2	27,0
	28,8	20,1
	54,0	33,2
X_n	43,0	26,7
S	12,9	6,6
Коэффициент вариации V_i	0,3	0,25
t_α	1,90	1,90
Показатель точности среднего значения ρ_α	0,33	0,28
Коэффициент надежности γ_g	1,49	1,38
Расчетное значение модуля упругости по каждому образцу $E_{обр}$, МПа	28,9	19,2

На основе результатов испытаний были сделаны следующие выводы.

1. В случае постепенного нагружения при меньшей скорости деформирования значения модуля упругости $E_{обр}$ были несколько выше, чем при большей скорости (средние значения 36,4 и 26,4 соответственно).
2. Для определения расчетного модуля упругости материала представляется целесообразным исключить результаты, полученные при медленном нагружении, поскольку, во первых, реальным условиям работы плит в дорожной конструкции соответствует быстрое нагружение, во-вторых, результаты испытаний, выполненных при быстром нагружении, достаточно близки к результатам, полученным при циклическом нагружении (среднее значение при циклическом нагружении – 24,05 МПа отличается на 9% от среднего значения при постепенном быстром нагружении – 26,4 МПа).

Исходя из этих соображений расчетная величина модуля упругости материала была определена на основе общей статистической обработки расчетных значений модулей упругости, полученных при постепенном нагружении со скоростью деформирования 3 мм/мин (табл.1) и при циклическом нагружении (табл. 2), и составила $E_m = 23$ МПа (табл. 3).

Таблица 3

Модуль упругости E_i , МПа	26,8
	36,4
	19,5
	22,8
	19,2
	28,9
X_n	25,6
S	6,6
Коэффициент вариации V_i	0,26
t_α	1,9
Показатель точности среднего значения ρ_α	0,21
Коэффициент надежности γ_g	1,27
Расчетное значение модуля упругости материала E_m	23

Приложение.

Результаты испытаний

Таблица 1

Нагрузка, кг	0	50	100	150	200	205	209
Деформация, мм	0	0,29	0,52	0,78	1,50	2,10	2,64

Таблица 2

Образец №2		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,25	0,79
60		
70	0,35	0,82
80	0,41	0,85
90	0,46	0,88

100	0,55	0,90
110	0,62	0,96
120	0,66	1,02
130	0,76	1,09
140	0,82	1,10
150	0,89	1,12
160	1,01	1,16
170	1,15	1,19
180	1,22	1,21

Таблица3

Образец №3		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,25	0,84
60	0,30	0,89
70	0,34	0,95
80	0,41	0,98
90	0,45	1,00
100	0,51	1,05
110	0,55	1,08
120	0,63	1,12
130	0,68	1,15
140	0,79	1,18
150	0,86	1,20
160	0,99	1,21
170	1,08	1,21
180	1,21	1,21

Таблица4

Образец №4		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,30	0,91
60	0,36	1,00
70	0,41	1,04
80	0,48	1,09
90	0,54	1,11
100	0,58	1,15
110	0,64	1,19
120	0,72	1,20
130	0,80	1,24
140	0,89	1,29
150	1,0	1,32
160	1,08	1,34
170	1,22	1,37
180	1,40	1,40

Таблица 5

Образец №5		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,34	0,58
60	0,42	0,60
70	0,46	0,61
80	0,51	0,72
90	0,56	0,78
100	0,60	0,81
110	0,64	0,85
120	0,70	0,90
130	0,78	0,92
140	0,88	0,96
150	0,94	1,01
160	1,01	1,01

Таблица 6

Образец №6		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,2	0,33
60	0,24	0,36
70	0,28	0,40
80	0,32	0,43
90	0,35	0,46
100	0,39	0,49
110	0,43	0,52
120	0,47	0,56
130	0,50	0,58
140	0,56	0,59
150	0,60	0,64
160	0,64	0,64

Таблица 7

Образец №7		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,42	0,01
80	0,57	0,09
120	0,80	0,17
160	1,12	1,12
150		1,10
140		1,07
130		1,03
120		1,0
110		0,96
100		0,94
90		0,89
80		0,85
70		0,80
60		0,74
50		0,70
0		0,41

Таблица 8

Образец №8		
Нагрузка, кгс	Деформация, мм	
	Под нагрузкой	При разгрузке
50	0,43	0
80	0,61	0,06
120	0,92	0,16
160	1,36	1,36
150		1,34
140		1,32
130		1,29
120		1,25
110		1,21
100		1,17
90		1,12
80		1,06
70		1,02
60		0,95
50		0,91
0		0,47