

**Лаборатории механических и климатических испытаний
образцов, материалов и компонентов авиационной техники
ООО «Исследовательский Комплекс Центра Технологического Обеспечения»
(ИЛ «ИК ЦТО») Технопарка Новосибирского Академгородка**

Аттестат аккредитации
№ ИЛ-135 от 10.04.2017 г.
Действителен до 10.04.2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ИЛ «ИК ЦТО»,
Директор ООО «ИК ЦТО»


(подпись) Рязанцев А. Э.
(фамилия, инициалы)
« 12 » января 2018 г.


ПРОТОКОЛ № ИЛ «ИК ЦТО» /495-2018

(сокращенное наименование лаборатории/ порядковый № протокола - год выпуска)

испытаний для целей:

определение изменения прочности на изгиб
по мере климатического воздействия
(вид испытаний)

образцов из композиционных материалов с наноаддитивами
(наименование, тип, марка объекта испытаний)

**Запрещается частичная или полная перепечатка протокола без разрешения
ИЛ «ИК ЦТО»**

**Результаты испытаний распространяются только на образцы продукции,
прошедшие испытания**

Листов 18 (восемнадцать)
(указывается общее кол-во листов с приложениями)

Заведующий ИЛ



Сачков В.В.

Новосибирск
2018 г.

1. 1 НАИМ НАИМЕНОВАНИЕ ИЗДЕЛИЯ криволинейные образцы из композиционных материалов
(наименование, тип, марка, заводской номер объекта испытаний)
2. ИЗГОТОВИТЕЛЬ Научно-производственное предприятие "Алтик"
(659305, Алтайский край г. Бийск, ул. Трофимова, 19)
(наименование фирмы изготовителя, юридический адрес)
3. ЗАКАЗЧИК ООО «МНЦТЭ» (630090, Новосибирская обл. г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, д. 7/11)
(наименование фирмы изготовителя, юридический адрес)
4. КОЛИЧЕСТВО ИСПЫТАННЫХ ОБРАЗЦОВ 54 (пятьдесят четыре)
5. КОМПЛЕКТНОСТЬ шесть типов по 9 образцов в каждом типе
6. ДАТА ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦА И ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ:
Образцы получены: 28.09.2017 г.
Испытания проведены с 29.09.2017 по 25.12.2017 г. После испытаний все образцы переданы Заказчику.
7. ЦЕЛЬ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ определение механических свойств материала образцов после климатического воздействия
8. ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗДЕЛИЯ образцы вырезаны полукольцами из композитных труб, произведенных методом намотки. В качестве связующего брались различные смолы, добавлялись различные аддитивы, в соответствии с таблице 1

Таблица 1 — Перечень образцов и аддитивов

№	Связующее	Аддитив	Количество образцов
1	ЭДИН №10	Tuball Matrix 0.14%	9
2	ЭДИ-2Э	УФ стабилизатор SongSorb, 2%	9
3	ЭДИН №10	Tuball Matrix 0.28% УФ стабилизатор SongSorb, 2%	9
4	ЭДИН №10	Tuball Matrix 0.14% УФ стабилизатор SongSorb, 2%	9
5	ЭДИН №10	0.14% нанотрубок (содержание Tuball Matrix - 0.28%)	9
6	ЭДИН №10	0.14% нанотрубок (содержание Tuball Matrix - 0.28%) УФ стабилизатор SongSorb, 4%	9
ИТОГО			54

9. МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ – Лаборатория механических и климатических испытаний образцов, материалов и компонентов авиационной техники ООО «Исследовательский Комплекс Центра Технологического Обеспечения» 630099, г. Новосибирск, ул. Инженерная, 20, тел. +7 (383) 3449403, info@ikcto.ru
10. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ Температура окружающей среды +24...+25 °С. Относительная влажность 45...55 %. Атмосферное давление 740...753 мм. рт. ст.
11. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ УФ излучение 54 образца (по девять образцов, вырезанных из каждой из шести стеклопластиковых труб согласно п. 1 настоящей таблицы) в камере солнечной радиации. Излучение: 60 Вт/м² в диапазоне 300-400 нм. 0,51 Вт/(м²*нм) на длине волны 340 нм.
Испытание образцов на изгиб для определения предела прочности после УФ воздействия. Параметры испытаний согласованы Заказчиком. Расстояние между опорами при изгибе – 75 мм

12 СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ

Наименование, тип, заводской номер, значение точностной характеристики, предел измерений	№ свидетельства о поверке (аттестата), срок его действия
1. Серво-гидравлическая испытательная машина для испытаний при сложном напряженном состоянии, типа BISS UTN-100kN, зав.№ 100812610204	№ 358149 от 06.12.12, периодичность 1 раз в 2 года
2. Везерометр Q-Sun XE-01-S, 2011, зав. 2558	Протокол периодической калибровки №2092/2017 от 05.08.2017
3. Система для измерения параметров испытаний серии SATEK модификации 300DX (Гос.реестр № 27809-04), зав.№ 300DXK5623.	№ 318869 от 05 июня 2017 г., действительно до 04 июня 2018 г.

13 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

На испытания было поставлено шесть типов по девять образцов.

Общий вид образцов в испытательной установке УФ воздействия представлен на рисунке 1.

Общий вид испытательной установки при испытаниях на изгиб представлен на рисунке 2.

Характеристики испытательной установки представлены в таблице 2.

Результаты обмеров образцов представлены в таблице 3.

Результаты испытаний образцов представлены в таблицах 4-9

Диаграммы нагрузка-перемещение, представлены на рисунках 3-20

Сравнительные характеристики прочности образцов по мере возрастания циклов климатического воздействия представлены в таблице 10.

Диаграмма изменения прочности образцов в результате климатического воздействия приведена на рисунке 21.

Соответствие между временем нахождения в везерометре и экспозицией в климатических условиях представлено в таблице 11.

Описание методики пересчета времени экспозиции по ГОСТ 16350-80 изложено в Приложении 1

Типовой вид образца после испытаний представлен на рисунке 22.



Рисунок 1 — Общий вид образцов в камере везерометра

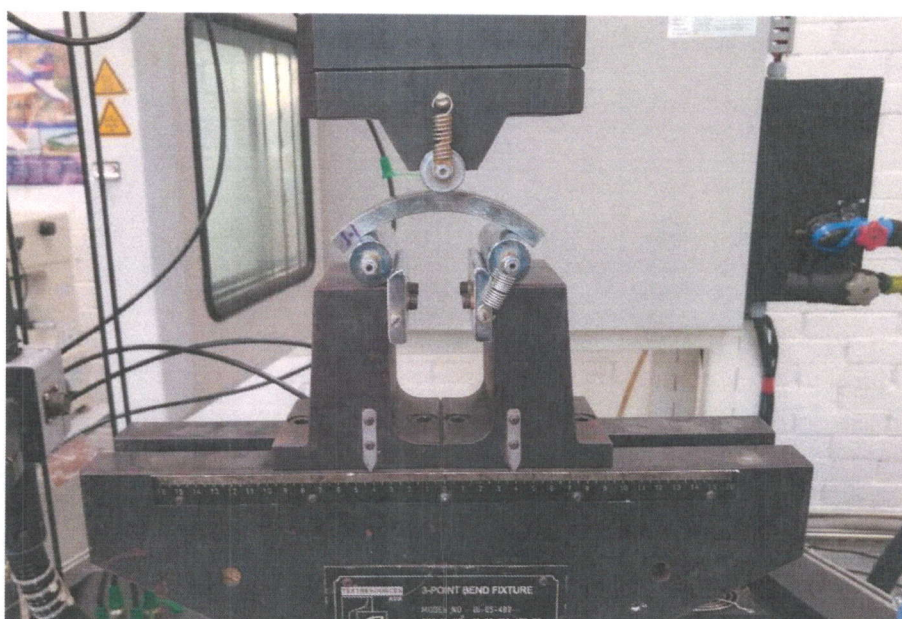


Рисунок 2 — Общий вид образца при испытании на изгиб

Таблица 2 — Параметры испытательной установки

Параметр	Значение
Стенд	Электро-гидравлическая двухколонная испытательная система с управлением от ЭВМ.
Максимальное усилие нагрузки	$\pm 100 \text{ кН}$
Погрешность по нагрузке	$\pm 0,6\%$
Перемещение штока силонагружателя	$\pm 85 \text{ мм}$
Погрешность по перемещению	$\pm 0,025 \text{ мм}$

Таблица 3 — Результаты замера образцов

Наименование образца, Тип - №	Ширина, Мм	Толщина, мм	$W_{н.о.}, \text{ мм}^3$
I-1	10.90	19.98	395.6
I-2	10.86	19.70	387.2
I-3	10.84	18.75	367.2
I-4	11.02	19.74	399.5
I-5	10.61	19.50	365.9
I-6	10.93	18.97	377.7
I-7	10.90	20.05	397.0
I-8	11.05	19.45	395.8
I-9	11.00	19.36	390.4
II-1	11.20	19.05	398.3
II-2	10.97	19.29	386.9
II-3	10.98	19.69	395.6
II-4	11.00	19.55	394.3
II-5	11.02	19.59	396.5
II-6	11.00	19.72	397.7
II-7	10.96	19.45	389.4
II-8	11.14	19.75	408.5
II-9	11.44	19.52	425.8
III-1	10.55	19.33	358.6
III-2	10.53	19.56	361.5
III-3	10.57	19.56	364.2
III-4	10.75	19.62	377.9
III-5	10.60	19.62	367.4
III-6	10.74	19.36	372.2
III-7	10.66	19.68	372.7
III-8	11.05	19.62	399.3
III-9	10.80	19.35	376.2
IV-1	10.60	19.45	364.3
IV-2	10.21	19.21	333.6
IV-3	10.64	19.25	363.2
IV-4	10.56	20.10	373.6
IV-5	10.38	19.77	355.0
IV-6	10.50	19.68	361.6

IV-7	10.96	19.86	397.6
IV-8	10.89	20.39	403.0
IV-9	10.80	20.20	392.7
V-1	11.10	19.45	399.4
V-2	11.06	19.55	398.6
V-3	10.70	18.55	353.8
V-4	10.95	19.09	381.5
V-5	10.71	19.47	372.2
V-6	10.84	18.40	360.4
V-7	11.19	19.47	406.3
V-8	11.13	19.40	400.5
V-9	11.18	19.55	407.3
VI-1	11.00	19.45	392.2
VI-2	11.40	18.80	407.2
VI-3	10.50	19.15	351.9
VI-4	10.89	19.30	381.5
VI-5	11.09	18.89	387.2
VI-6	10.84	18.20	356.4
VI-7	11.08	19.52	399.4
VI-8	11.58	19.46	434.9
VI-9	11.02	18.96	383.8

Таблица 4 — Результаты испытания образцов на изгиб тип I

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	W _{н.о.} , мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
I-1	0	395.6	11.433	229	578
I-2		387.2	11.571	231	598
I-3		367.2	9.843	197	536
I-4	500	399.5	10.502	210	526
I-5		365.9	10.884	218	595
I-6		377.7	10.353	207	548
I-7	1000	397.0	11.403	228	574
I-8		395.8	11.123	222	562
I-9		390.4	10.990	220	563

Таблица 5 — Результаты испытания образцов на изгиб тип II

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	W _{н.о.} , мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
II-1	0	398.3	11.565	231	581
II-2		386.9	10.1844	204	526
II-3		395.6	11.113	222	562
II-4	500	394.3	10.616	212	539
II-5		396.5	10.907	218	550
II-6		397.7	9.957	199	501
II-7	1000	389.4	11.613	232	596
II-8		408.5	11.135	223	545
II-9		425.8	11.826	237	555

Таблица 6 — Результаты испытания образцов на изгиб тип III

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	W _{н.о.} , мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
III-1	0	358.6	9.965	199	556
III-2		361.5	9.689	194	536
III-3		364.2	11.227	225	616
III-4	500	377.9	11.219	224	594
III-5		367.4	11.376	228	619
III-6		372.2	10.897	218	586
III-7	1000	372.7	10.913	218	586
III-8		399.3	11.421	228	572
III-9		376.2	10.074	201	536

Таблица 7 — Результаты испытания образцов на изгиб тип IV

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	W _{н.о.} , мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
IV-1	0	364.3	11.433	229	628
IV-2		333.6	11.571	231	694
IV-3		363.2	9.843	197	542
IV-4	500	373.6	11.146	223	597
IV-5		355.0	10.193	204	574
IV-6		361.6	10.779	216	596
IV-7	1000	397.6	10.748	215	541
IV-8		403.0	9.366	187	465
IV-9		392.7	12.308	246	627

Таблица 8 — Результаты испытания образцов на изгиб тип V

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	W _{н.о.} , мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
V-1	0	399.4	11.433	229	573
V-2		398.6	11.571	231	581
V-3		353.8	9.843	197	556
V-4	500	381.5	10.111	202	530
V-5		372.2	10.167	203	546
V-6		360.4	10.361	207	575
V-7	1000	406.3	11.713	234	577
V-8		400.5	11.457	229	572
V-9		407.3	11.407	228	560

Таблица 9 — Результаты испытания образцов на изгиб тип VI

Наименование образца, Тип - №	Длительность УФ воздействия, час	Wн.о., мм ³	Максимальное разрушающее усилие, кН	Максимальный изгибающий момент, кН*мм	Максимальные изгибные напряжения, МПа
VI-1	0	392.2	11.433	229	583
VI-2		407.2	11.571	231	568
VI-3		351.9	9.843	197	559
VI-4	500	381.5	9.846	197	516
VI-5		387.2	11.321	226	585
VI-6		356.4	8.965	179	503
VI-7	1000	399.4	11.099	222	556
VI-8		434.9	12.162	243	559
VI-9		383.8	11.028	221	575

Таблица 10 — Изменение изгибной прочности по мере возрастания циклов климатического воздействия

Число цикло УФ воздействия, час	Средние напряжения изгиба (0 час), МПа	Среднекв. отклонение (МПа)	Средние напряжения изгиба (500 час), МПа	Среднекв. отклонение (МПа)	Средние напряжения изгиба (1000 час), МПа	Среднекв. отклонение (МПа)
Type I	570.6	31.64	556.3	35.25	566.5	6.66
Type II	556.3	27.93	529.8	25.71	565.7	27.02
Type III	569.5	41.63	599.5	17.21	564.4	25.79
Type IV	621.1	76.22	589.0	13.00	544.1	81.05
Type V	569.8	12.77	550.5	22.81	569.6	8.74
Type VI	570.2	12.12	534.7	44.07	563.3	10.21

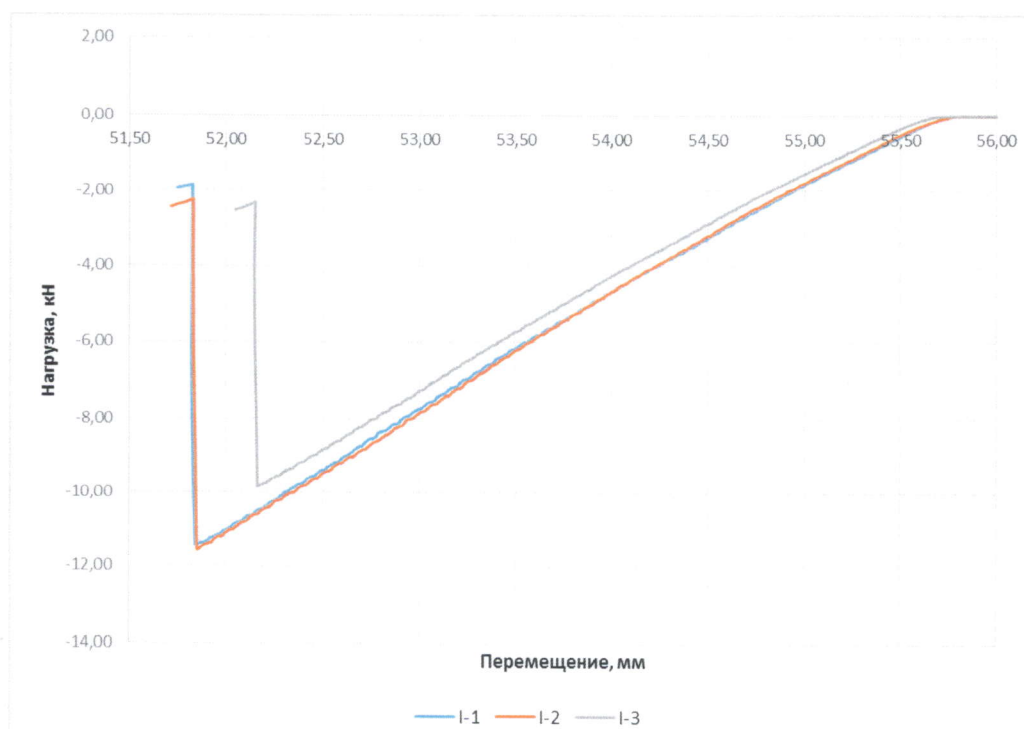


Рисунок 3 — Диаграммы нагружения образцов тип I 0 циклов УФ воздействия

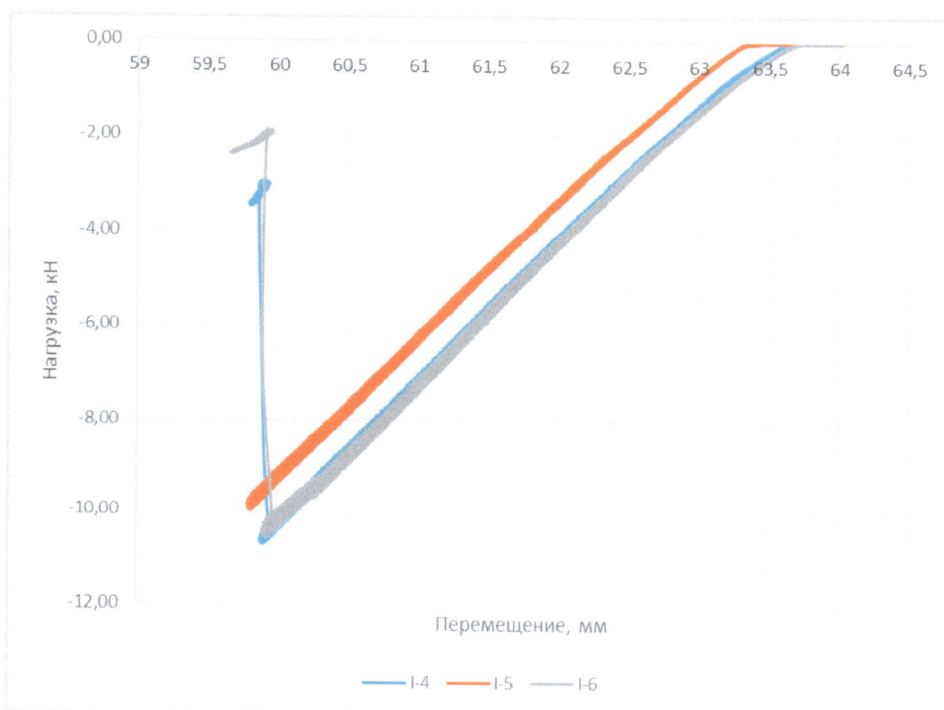


Рисунок 4 — Диаграммы нагружения образцов тип I после 500 часов УФ воздействия

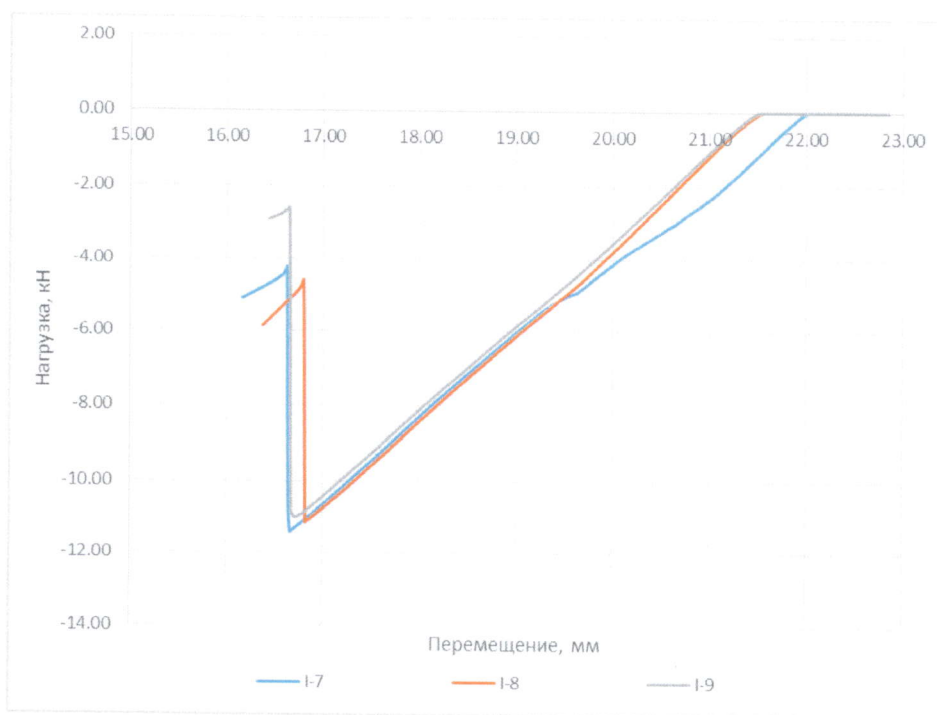


Рисунок 5 — Диаграммы нагружения образцов тип I после 1000 часов УФ воздействия

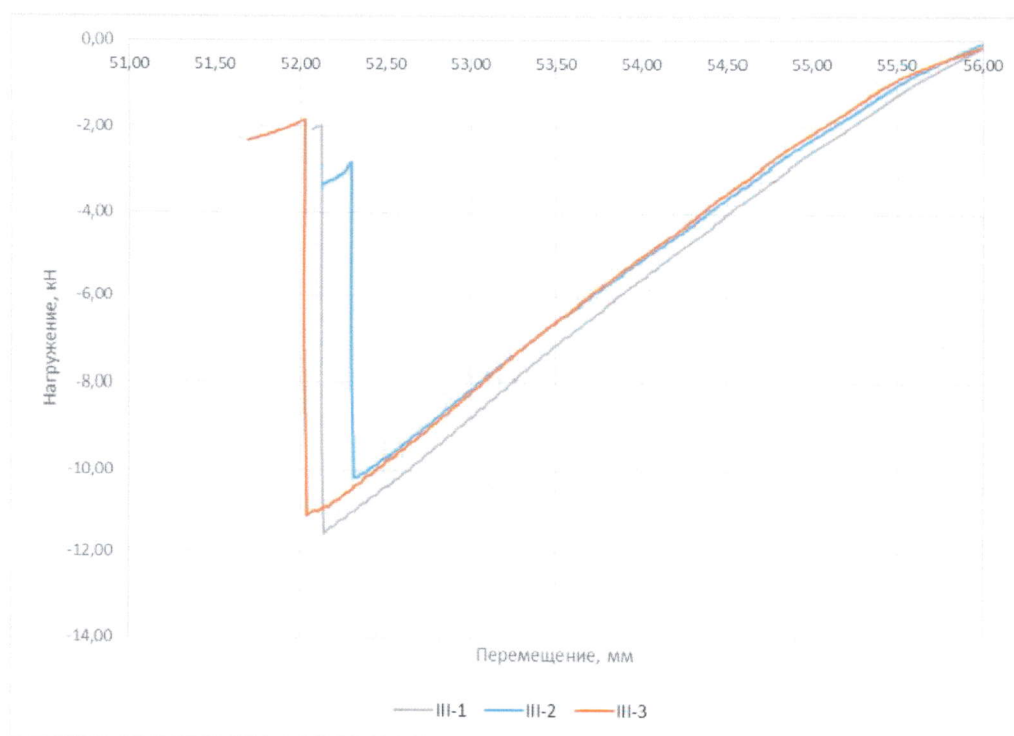


Рисунок 6 — Диаграммы нагружения образцов тип II 0 циклов УФ воздействия

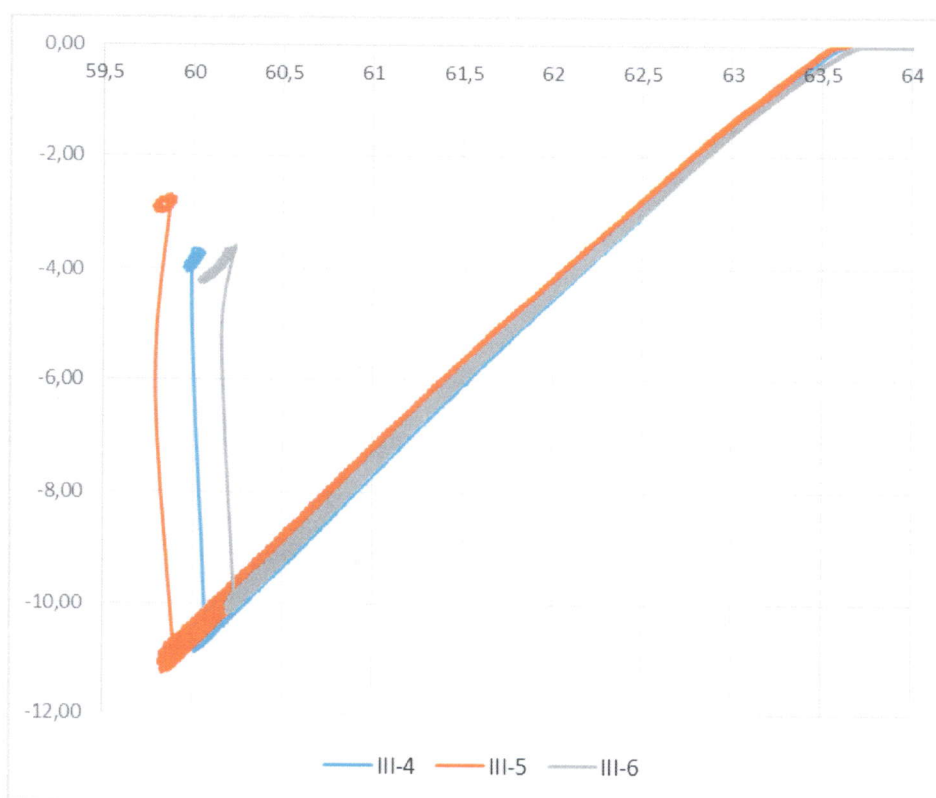


Рисунок 7 — Диаграммы нагружения образцов тип II после 500 часов УФ воздействия

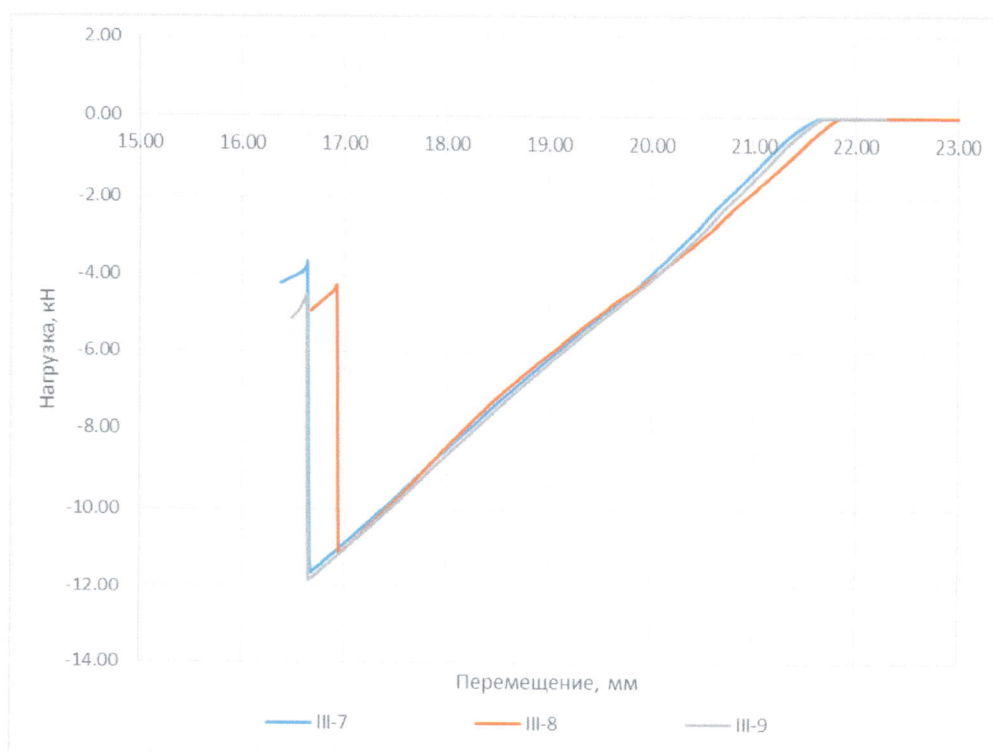


Рисунок 8 — Диаграммы нагружения образцов тип II после 1000 часов УФ воздействия

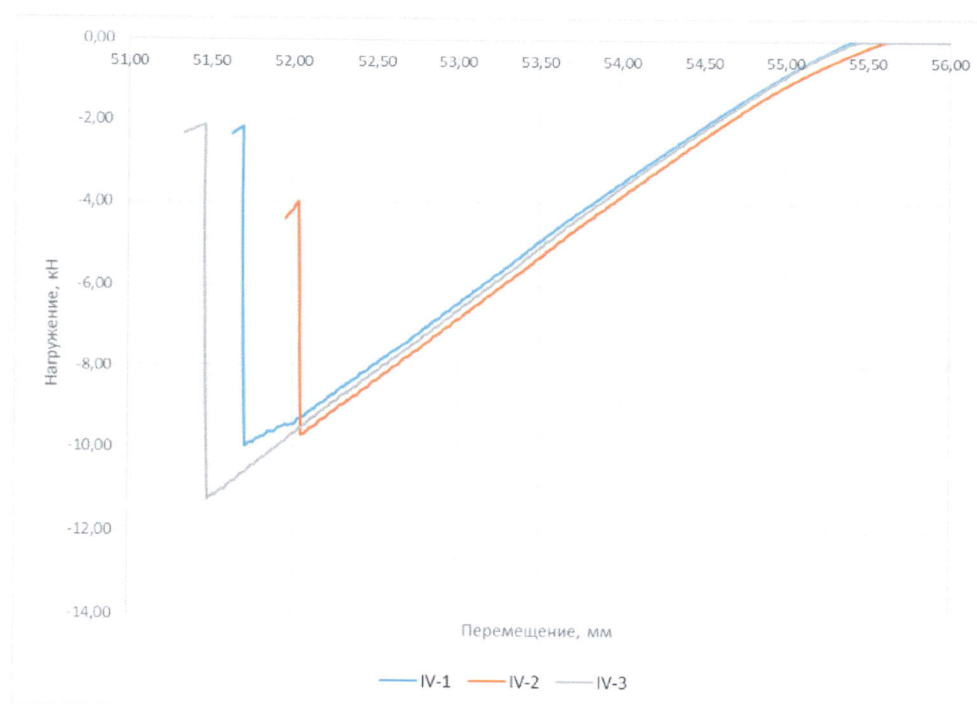


Рисунок 9 — Диаграммы нагружения образцов тип III 0 циклов УФ воздействия

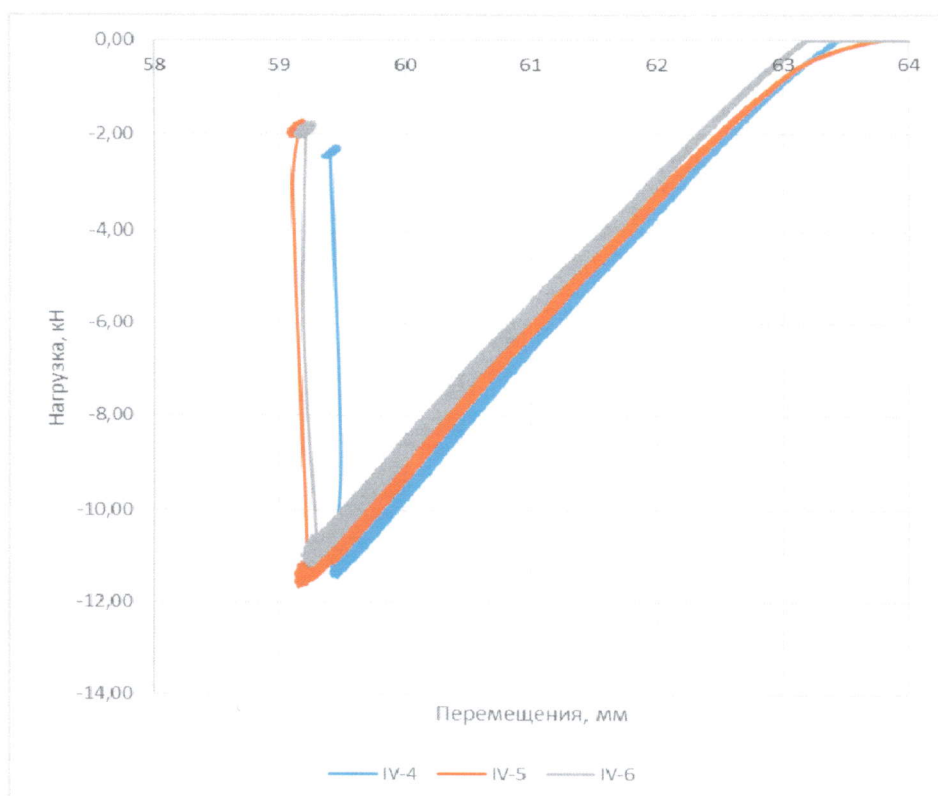


Рисунок 10 — Диаграммы нагружения образцов тип III после 500 часов УФ воздействия

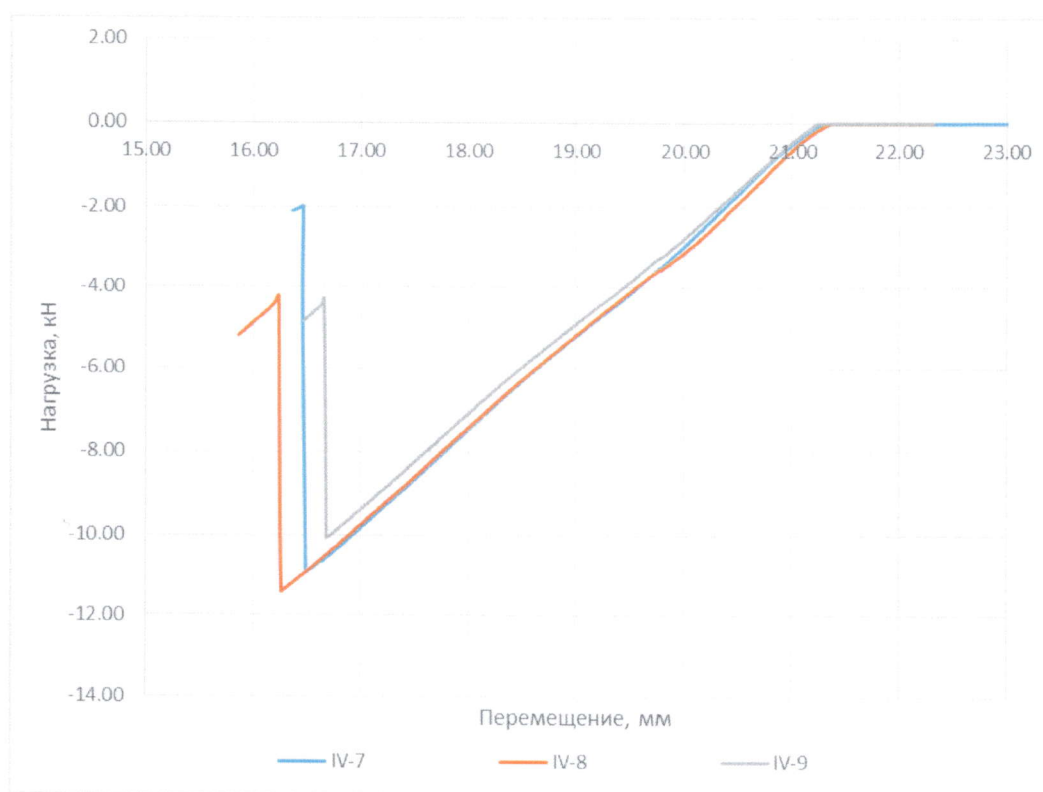


Рисунок 11 — Диаграммы нагружения образцов тип III после 1000 часов УФ воздействия

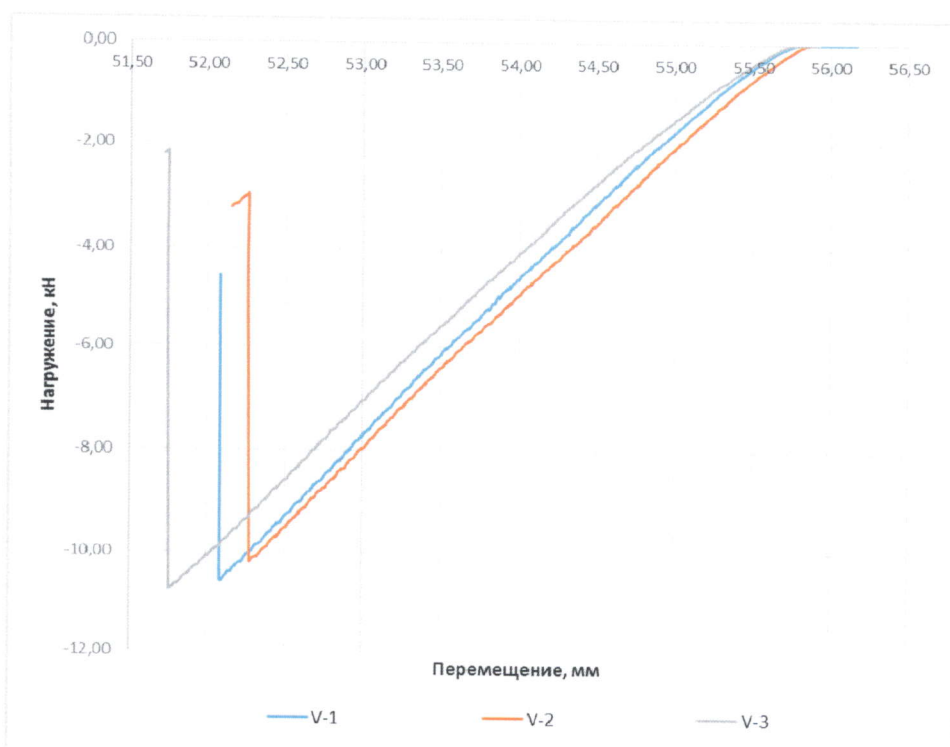


Рисунок 12 — Диаграммы нагружения образцов тип IV 0 циклов УФ воздействия

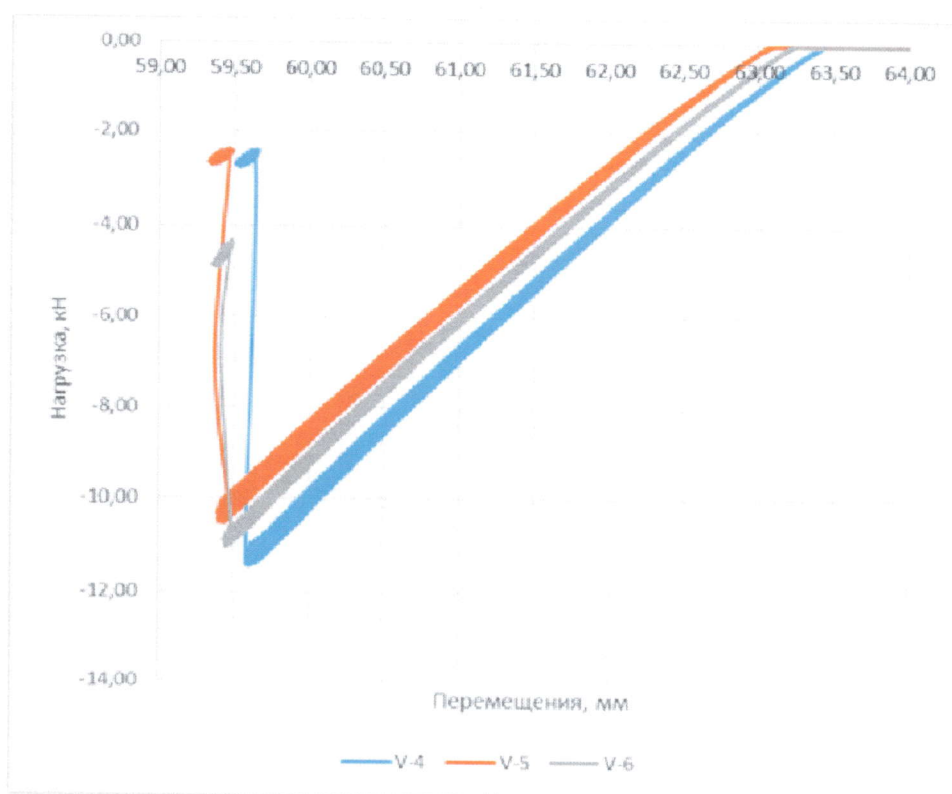


Рисунок 13 — Диаграммы нагружения образцов тип IV после 500 часов УФ воздействия

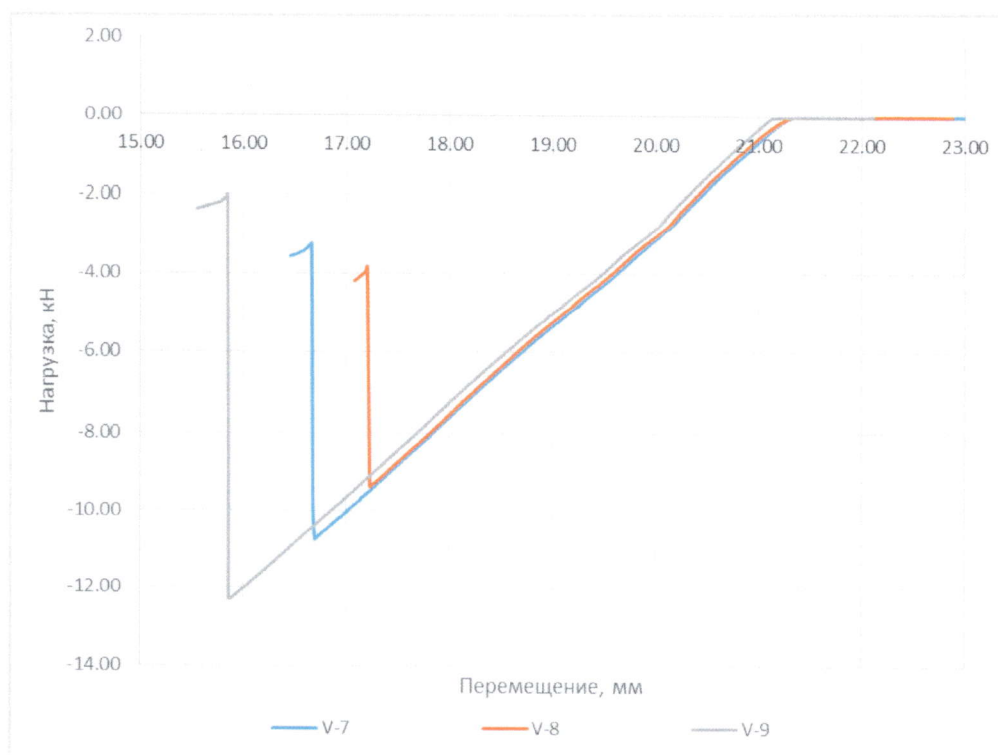


Рисунок 14 — Диаграммы нагружения образцов тип IV после 1000 часов УФ воздействия

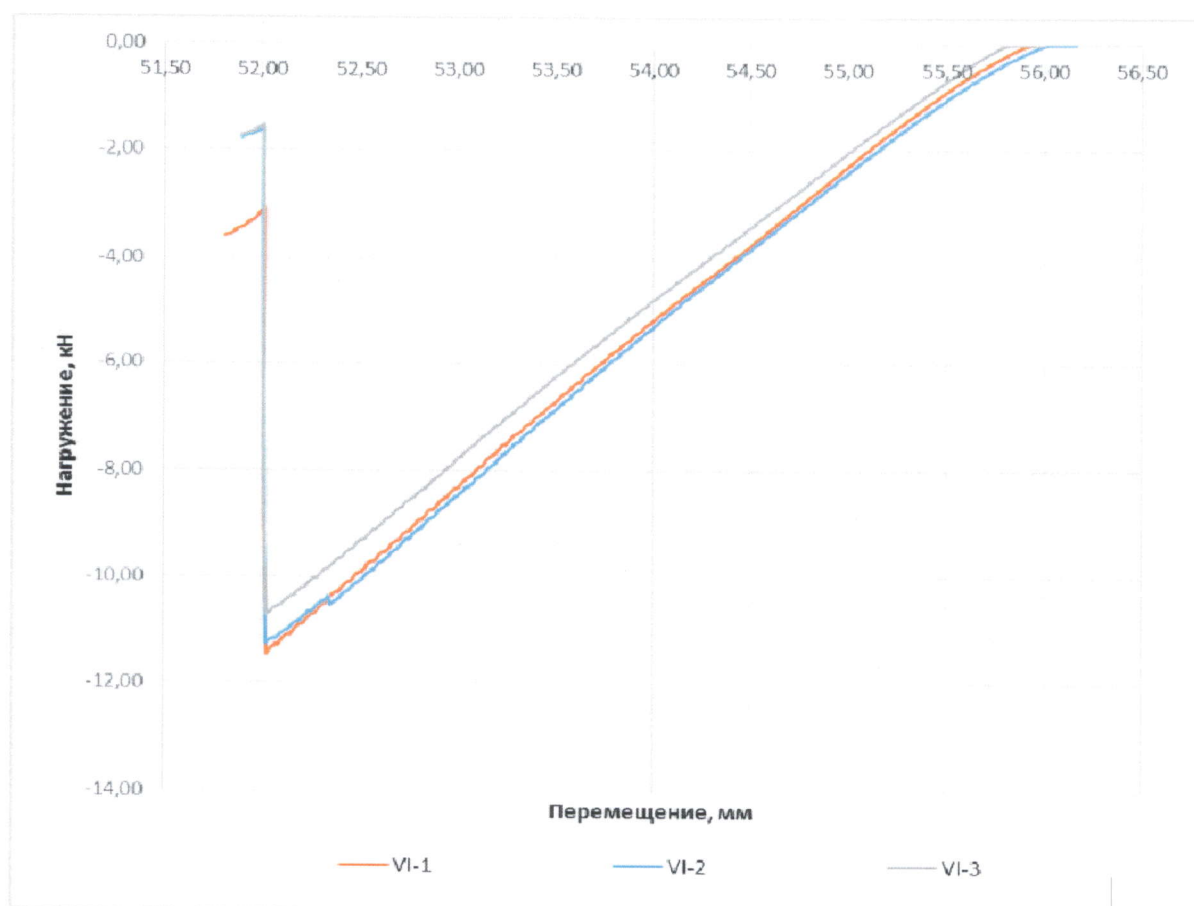


Рисунок 15 — Диаграммы нагружения образцов тип V 0 циклов УФ воздействия

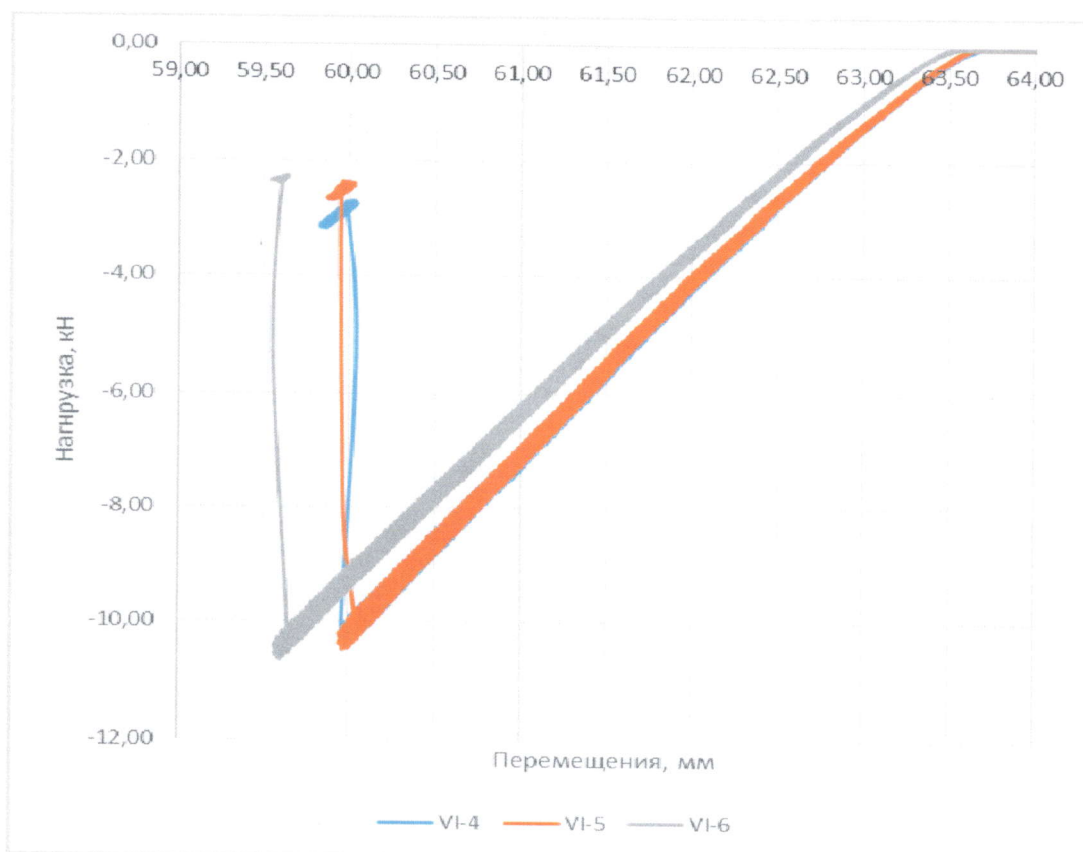


Рисунок 16 — Диаграммы нагружения образцов тип V после 500 часов УФ воздействия

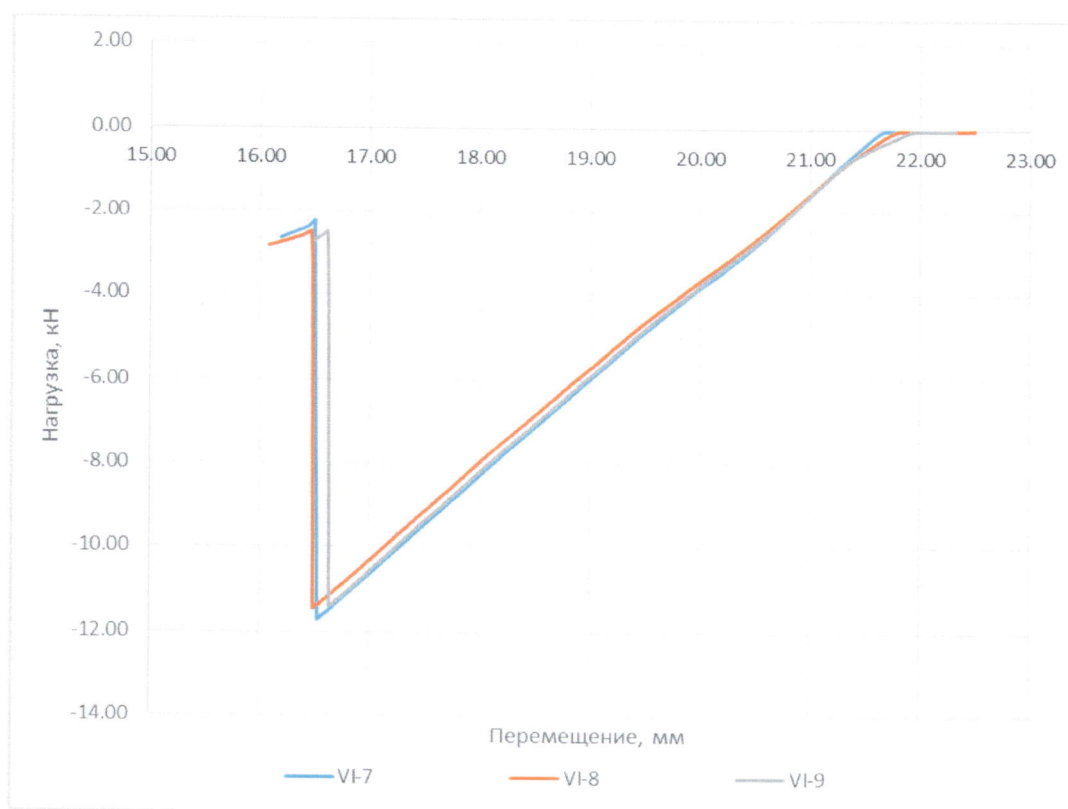


Рисунок 17 — Диаграммы нагружения образцов тип V после 1000 часов УФ воздействия

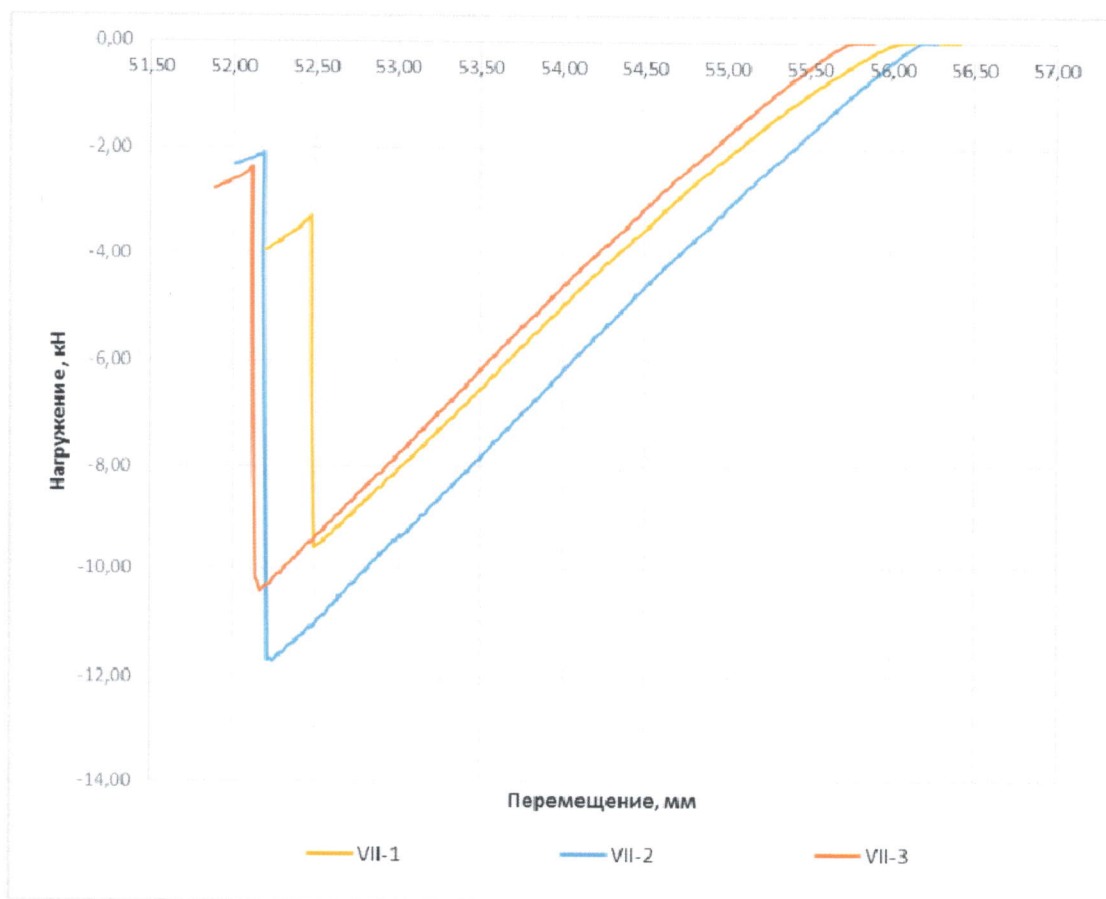


Рисунок 18 — Диаграммы нагружения образцов тип VI 0 циклов УФ воздействия

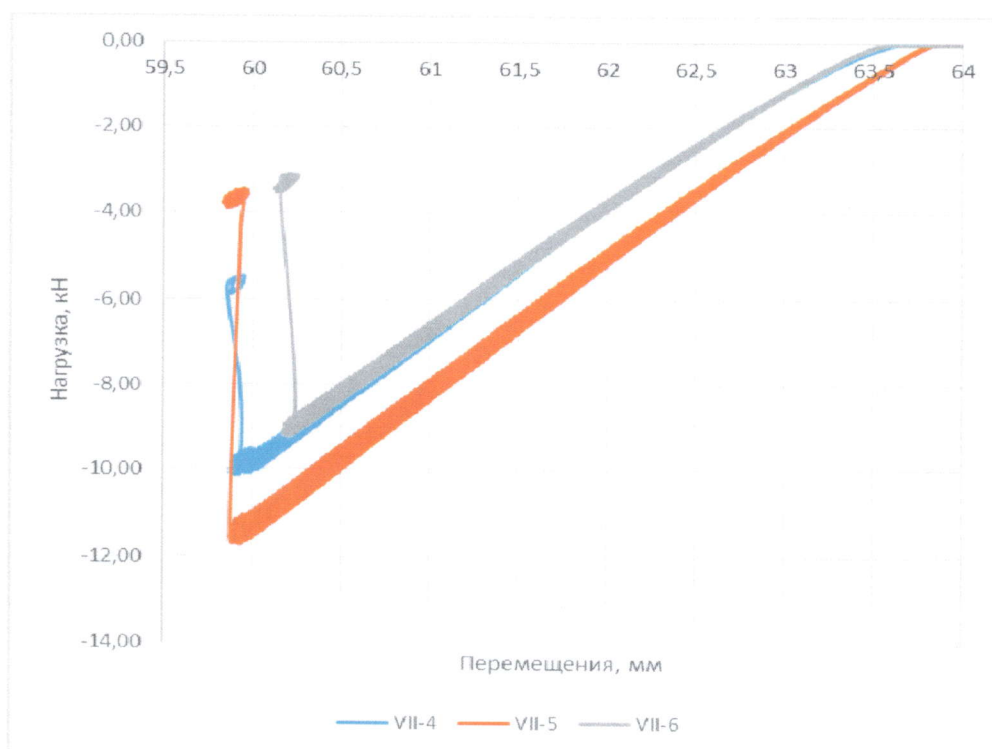


Рисунок 19 — Диаграммы нагружения образцов тип VI после 500 часов УФ воздействия

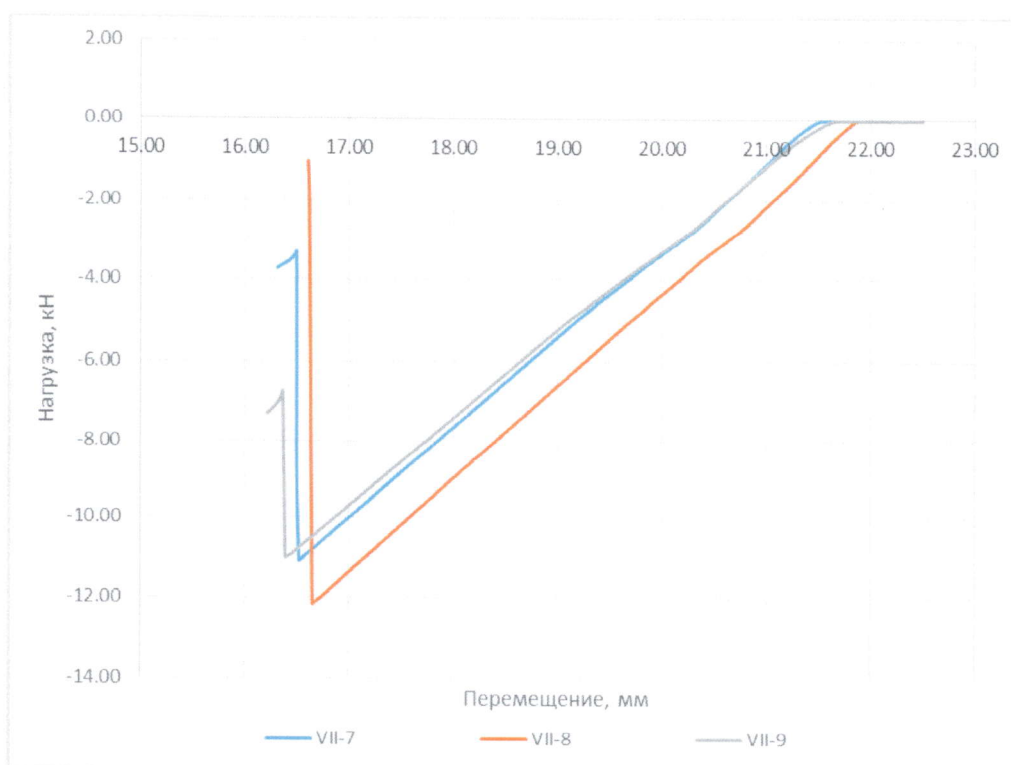


Рисунок 20 — Диаграммы нагружения образцов тип VII после 1000 часов УФ воздействия

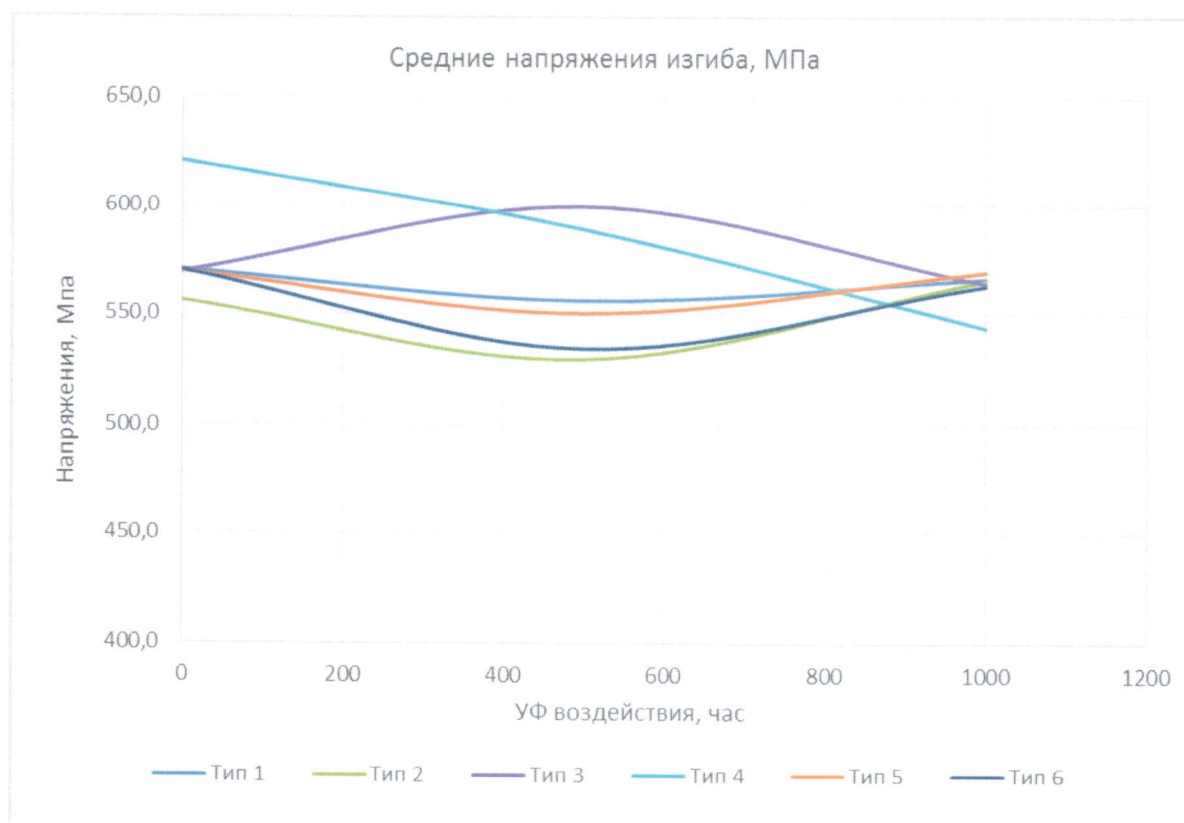


Рисунок 21 — Диаграмма изменения прочности образцов в результате УФ воздействия

Таблица 11 — Соответствие между временем нахождения в везерометре и экспозицией в климатических условиях (ГОСТ 16350-80)

В везерометре, часов	Кол-во часов под воздействием солнечной радиации на широте экватора с мощностью эквивалентной облучению солнца в 12.30 летом (Стандарт CIE 085-1989, таблица 4)	Кол-во часов под воздействием солнечной радиации на широте г.Москва с мощностью эквивалентной облучению солнца в 12.30 летом (в соответствии с ГОСТ 16350-80)
100	75	366
250	187,5	916
500	375	1832
750	562,5	2748
1000	750	3664

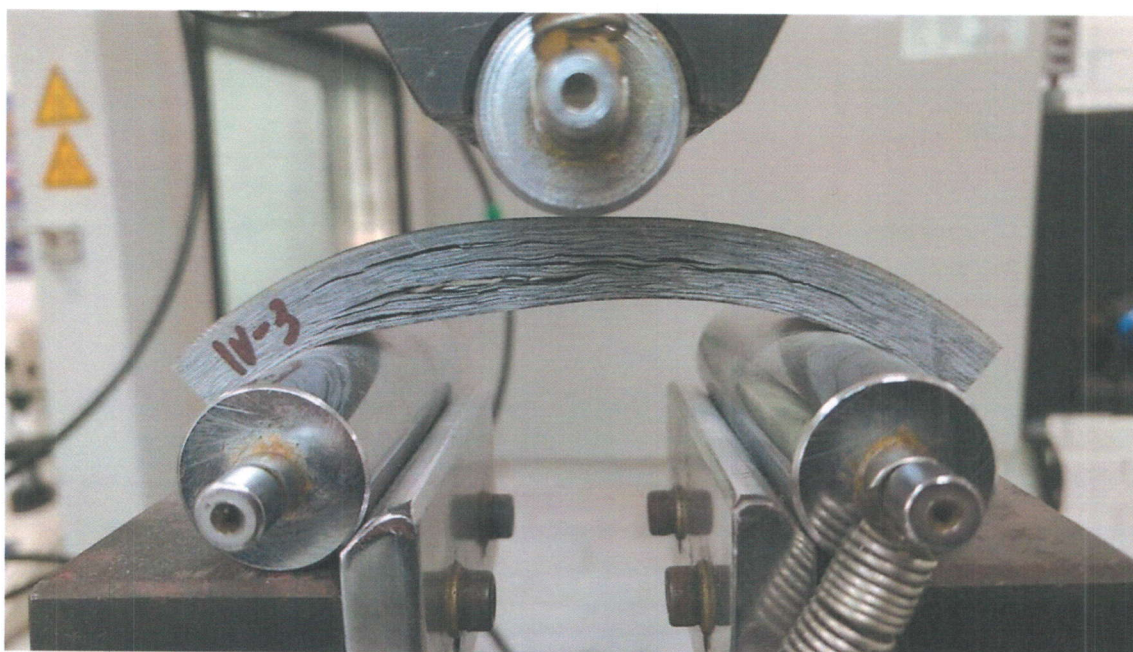


Рисунок 22 — Типовой вид образцов после испытаний на изгиб

Приложение 1 (справочное) — Описание методики пересчета времени экспозиции

Спектр излучения в везерометре соответствует спектру излучения солнца на поверхности земли. Полная мощность излучения контролируется по мощности излучения на длине волны излучения для длин волн от 300 до 400 нм составляет 60 Вт/м².

Пересчет на стандарт CIE 085-1989, таблица 4

Стандарт CIE 085-1989, таблица 4 регламентирует спектр излучения солнца на экваторе в ясный полдень летом. Мощность излучения составляет 0,68 Вт/м²нм при 300 нм. Спектр излучения соответствует спектру везерометра. Пересчет времени экспозиции производился исходя из принципа одинаковой полной энергии излучения:

$$W_{CIE} \times t_{CIE} = W_{ВЕЗ} \times t_{ВЕЗ},$$

Где W_{CIE} – мощность излучения по стандарту, t_{CIE} – время экспозиции на экваторе в летний полдень, $W_{ВЕЗ}$ – мощность излучения в везерометре, $t_{ВЕЗ}$ – время экспозиции в везерометре. В соответствии с выписанным уравнением время экспозиции на экваторе составляет

$$t_{CIE} = \frac{0,51}{0,68} t_{ВЕЗ} = 0,75 t_{ВЕЗ}$$

Следует учесть, что полученное время соответствует непрерывной экспозиции под полуденным солнцем.

Пересчет на ГОСТ 16350-80 для умеренного климата II₅ (Москва и соседние регионы)

Стандарт ГОСТ 16350-80 регламентирует среднюю месячную интегральную плотность потока суммарного солнечного излучения в 12 ч 30 мин вне зависимости от облачности (Таблица 15). Для умеренного климата Москвы значения составляют (Вт/м²):

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
111,7	230,3	376,9	481,6	565,4	516,5	509,5	425,8	300,1	209,4	118,7	83,8

Если усреднить эти значения, то средняя интегральная плотность потока составит 327,475 Вт/м². Согласно паспорту везерометра, для мощности излучения 0,51 Вт/м²нм при 300 нм интегральная плотность потока для длин волн от 300 до 400 нм составляет 60 Вт/м². Согласно литературным данным, эти 60 Вт/м² составляют примерно 5% от всей плотности потока [1]. Тогда полная интегральная плотность потока в везерометре составляет 60/0,05 = 1200 Вт/м². Пересчет времени экспозиции производился исходя из принципа одинаковой полной энергии излучения:

$$W_{ГОСТ} \times t_{ГОСТ} = W_{ВЕЗ} \times t_{ВЕЗ},$$

Где $W_{ГОСТ}$ – мощность излучения по стандарту, $t_{ГОСТ}$ – время экспозиции в Москве в 12:30, $W_{ВЕЗ}$ – мощность излучения в везерометре, $t_{ВЕЗ}$ – время экспозиции в везерометре. В соответствии с выписанным уравнением время экспозиции в Москве составляет

$$t_{ГОСТ} = \frac{1200}{327,475} t_{ВЕЗ} = 3,66 t_{ВЕЗ}$$

Следует учесть, что полученное время соответствует непрерывной экспозиции под полуденным солнцем.

Литература

1. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Radiation. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2012. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100D.) SOLAR AND ULTRAVIOLET RADIATION. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304366/>