

**Исследование зависимости плотности кремнеземных нетканых  
волоконистых материалов от величины удельной нагрузки****А.А. Струк<sup>1</sup>**<sup>1</sup>АО «НПО Стеклопластик», Российская Федерация**А.В. Медведев<sup>1</sup>**<sup>2</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина**К.Э. Разумеев<sup>2</sup>**

(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования зависимости плотности кремнеземных нетканых волоконистых материалов от величины удельной нагрузки. Нетканые волоконистые материалы в виде матов широко применяются в различных отраслях промышленности. Материалы для теплоизоляции металлургического и энергетического оборудования производятся в виде иглопробивных матов и иглопрошивных матов с облицовкой из термостойких тканей. Особое место среди волоконистых материалов занимают теплоизоляционные высокотемпературные кремнеземные материалы. Рассмотрены волоконистые маты их холстов механического и аэродинамического формирования. Материал волоконистых холстов – кремнеземные волокна KV-11 диаметром 7,5 мкм длиной 60 мм. Из части холстов на иглопробивной машине выработаны иглопробивные маты. Холсты механического способа формирования имеют выраженное ориентированное положение волокон. В связи с этим для экспериментов были подготовлены образцы матов из холстов с продольной и продольно-поперечной ориентацией волокон. Образцы с продольно-поперечной ориентацией собирались в пакет через один слой.

Методика проведения эксперимента по исследованию зависимости изменения плотности кремнеземных нетканых волоконистых матов от удельной нагрузки заключалась в определении толщины образцов при нагружении образцов грузами. Иглопробивные маты имеют более стабильные параметры при сжимающих нагрузках, чем маты из холстов механического способа формирования. Однако низкая исходная плотность иглопробивных матов может привести к дополнительным затратам для достижения заданных значений плотности теплового экрана. Плотность тепловых экранов должна находиться в пределах 100–200 кг/м<sup>3</sup>. Из имеющихся на рынке волоконистых материалов с указанными выше параметрами для теплового экрана выбраны иглопробивные маты Суперсилика плотностью от 120 до 170 кг/м<sup>3</sup>.

Проведенные исследования показали, что коэффициент корреляции между удельной нагрузкой и изменением толщины в процентах от начальной толщины образцов выше для образцов из матов Суперсилика. В связи с этим использование иглопробивных матов Суперсилика в тепловых экранах с двухсторонней облицовкой из кремнеземной ткани более предпочтительно.

**Ключевые слова:** нетканые материалы, иглопробивные маты, иглопрошивные маты, удельная нагрузка, плотность нетканых материалов.

**Информация о статье:** поступила 15 июня 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2023)».

**Investigation of density dependence of silica nonwoven materials on specific load value****Aleksandr A. Struk<sup>1</sup>**<sup>1</sup>JSC NPO Stecloplastik, Russian Federation**Alexander V. Medvedev<sup>1</sup>**<sup>2</sup>Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art),**Konstantin E. Razumeev<sup>2</sup>**

Russian Federation

**Abstract.** The article presents the results of the study investigating the dependence of the density of silica nonwoven fibrous materials on the value of specific load. Nonwoven fibrous materials, in the form of mats, are extensively used across various industries. Among fiber materials, heat-insulating high-temperature silica materials hold a special place. The fibrous canvases are composed of silica fibers (KV-11) with a diameter of 7.5 microns and a length of 60 mm. Needle-punched mats

are produced from a portion of these canvases using a needle-punching machine. Canvases produced by the mechanical method exhibit pronounced orientation of fibers. Consequently, samples of mats made from canvases with both longitudinal and longitudinal-transverse fiber orientations were prepared for experiments.

The aim of the work is to investigate the dependence of the change in density of silica nonwoven fiber mats on the specific load.

The experimental methodology was to determine the thickness of samples when loaded with weights.

Needle-punched mats exhibit more stable parameters under compressive loads compared to mats made from mechanically formed canvases. Low initial density of needle-punched mats can lead to additional costs to achieve the specified values of heat shield density. The density of heat shields should be range between 100–200 kg/m<sup>3</sup>. From the available on the market fiber materials with the above parameters for the thermal screen needle-punching mats Supersilika with density ranging from 120 to 170 kg/m<sup>3</sup> were selected.

The conducted studies revealed that the correlation coefficient between specific load and thickness change, as a percentage of the initial thickness of the specimens, is higher for the specimens made from Supersilika mats. Therefore, the use of Supersilika needle-punched mats in thermal shields with double-sided silica fabric lining is more preferable.

**Keywords:** nonwovens, needle-punched mats, needle-stitched mats, specific load, density of nonwovens.

**Article info:** received June 15, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI-2023".

Нетканые волокнистые теплоизоляционные материалы (ТИМ) производятся в виде иглопробивных матов и иглопрошивных матов с облицовкой из термостойких тканей. Одним из основных параметров ТИМ является плотность. Исследованию влияния плотности на механические и теплофизические свойства волокнистых нетканых материалов посвящен ряд работ (Киселев, 2010; Леденева, Кирсанова, Севостьянов и Белгородский, 2023; Лисиенкова, Комарова и Проскуряков, 2021; Луговой, Бабашов и Карпов 2014; Маскайкин и Махров, 2021; Сергеенков и Захаров, 2006; Сергеенков и Захаров 2008; Chen Zhou, Zhijin Wang and Paul M. Weaver, 2017; Gumen et al., 2001; Maqsood et al., 2000; Ma, Pan, Li and Deng, 2023).

В работах (Киселев, 2010; Леденева, Кирсанова, Севостьянов и Белгородский, 2023; Лисиенкова, Комарова и Проскуряков, 2021; Луговой, Бабашов и Карпов, 2014; Сергеенков и Захаров, 2006; Сергеенков и Захаров, 2008; Ma, Pan, Li and Deng, 2023) рассмотрены процессы сжатия волокон в массе и построены диаграммы деформирования материала при деформации сжатия. При этом наблюдается существенная зависимость вида диаграммы от плотности деформируемого материала. В работе (Луговой, Бабашов и Карпов, 2014) показано, что при температуре 1000–1200 °С при установившемся тепловом потоке интенсивность нагрева «холодной» пластины выше для волокнистого материала с плотностью 100 кг/м<sup>3</sup>, чем для материала с плотностью

200 кг/м<sup>3</sup>. Для ТИМ еще одним из параметров является коэффициент теплопроводности. На основании зависимостей коэффициента теплопроводности от температуры и плотности материала сделан вывод, что менее плотные материалы в области температур ниже 1000–1200 °С имеют коэффициент теплопроводности более низкий, чем более плотные (Луговой, Бабашов и Карпов, 2014). В работах (Маскайкин и Махров, 2021; Chen Zhou, Zhijin Wang and Paul M. Weaver, 2017; Gumen et al., 2001; Maqsood et al., 2000) исследованы зависимости коэффициента теплопроводности от удельной нагрузки на волокнистый материал. Увеличение удельной нагрузки с 0,6 до 9,66 кПа приводит к увеличению коэффициента теплопроводности на 45 %.

Анализ публикаций показал, что волокнистые материалы под действием сжимающей нагрузки изменяют плотность и свои свойства в значительно большей степени, чем другие текстильные материалы.

Целью работы является исследование зависимости изменения плотности кремнеземных нетканых волокнистых матов от удельной нагрузки.

Нетканые волокнистые материалы представлены иглопрошивными и иглопробивными матами. Основой волокнистых матов является холст механического или аэродинамического способа формирования. В связи с этим объектами исследования зависимости плотности кремнеземных нетканых волокнистых матов от удель-

ной нагрузки являлись кремнеземные маты из холстов механического способа формирования, кремнеземные иглопробивные маты из холстов механического и аэродинамического способа формирования.

Холсты механического способа формирования выработаны на чесальной машине ЧМТ из кремнеземных штапельных волокон марки КВ-11(7,5) ТУ 5952-184-05786904-2004 производства АО «НПО Стеклопластик». Длина штапеля 60 мм, диаметр волокна 7,5 мкм. Поверхностная плотность холстов от 114 до 235 г/м<sup>2</sup>. Заданная поверхностная плотность достигалась сгущением прочеса после съема виброгребнем со съемного барабана чесальной машины. На рисунке 1 представлены штапельное волокно (а) и холст механического способа формирования (б).

Выработанные холсты имеют выраженное ориентированное положение волокон. В связи с этим для экспериментов были подготовлены образцы матов из холстов с продольной и продольно-поперечной ориентацией волокон. Образцы с продольно-поперечной ориентацией собирались в пакет – через один слой. Из части холстов выработаны иглопробивные маты на иглопробивной машине в ООО «Ниагара».

Отбор и подготовку образцов матов для испытаний проводили в соответствии с ГОСТ 15902.2-2003 и ГОСТ 12203-2003. Испытания образцов проводили на

экспериментальном стенде в условиях свободного сжатия образцов. Образцы для испытаний диаметром 56 мм вырезались пробойником. На рисунке 2 (а) представлена фотография образца иглопробивного мата, на рисунке 2 (б) представлено схематическое изображение экспериментального стенда (1 – образец; 2 – пластина, 3 – груз), на рисунке 2 (в) представлена схема измерения толщины образцов.

Толщина образцов измерялась перед началом испытаний штангенрейсмасом типа ШРЦ ГОСТ 164-84 с ценой деления, равной 0,05 мм в центре образца без приложения сжимающей нагрузки. Количество слоев в пакете, ориентация волокон и свойства матов из холстов механического способа формирования представлены в таблице 1.

Количество слоев в пакете, ориентация волокон и свойства иглопробивного мата из холстов механического способа формирования представлены в таблице 2.

Методика проведения эксперимента по исследованию зависимости изменения плотности кремнеземных нетканых волокнистых матов от удельной нагрузки заключалась в определении толщины образцов при нагружении образцов грузами. Среднее значение толщины образцов получены по результатам измерений в четырех точках пластины (рисунок 2 в). Толщина, удельная нагрузка и плотность матов из холстов механическо-



а



б

Рисунок 1 – Штапельное волокно (а) и холст механического способа формирования (б)  
Figure 1 – Staple fiber (a) and mechanically formed canvas (b)

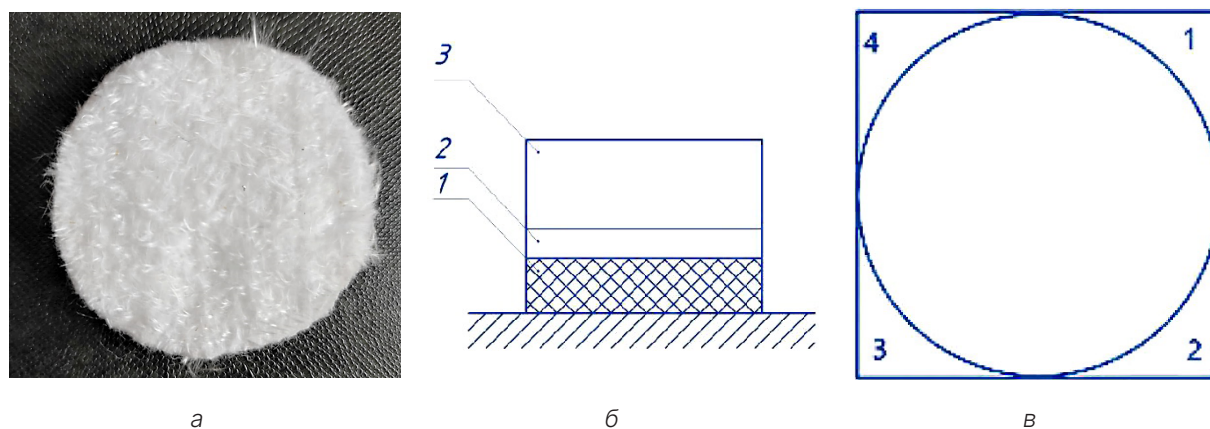


Рисунок 2 – Образец иглопробивного мата (а), схематическое изображение экспериментального стенда (б), схема измерения толщины образцов (в)  
Figure 2 – Sample of needle-punched mat (a), schematic representation of experimental stand (b), scheme of sample thickness measurement (c)

Таблица 1 – Количество слоев в пакете, ориентация волокон и свойства матов из холстов механического способа формирования

Table 1 – Number of layers in the package, fiber orientation and properties of mats made of canvas by mechanical forming method

Номер образца	Ориентация волокон в образцах	Количество слоев в пакете		Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
		Продольных	Поперечных			
1	Продольная	3	нет	14,05	344,36	24,51
2	Продольно-поперечная	2	1	18,95	480,76	25,37

Таблица 2 – Количество слоев в пакете, ориентация волокон и свойства иглопробивного мата из холстов механического способа формирования

Table 2 – Number of layers in the package, fiber orientation and properties of needle-punched mat from mechanically formed canvases

Номер образца	Ориентация волокон в образцах	Количество слоев в пакете		Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
		Продольных	Поперечных			
3	Продольная	3	нет	32,1	757,95	23,61
4	Продольно-поперечная	2	1	30,25	736,46	24,34

го способа формирования представлены в таблице 3.

Толщина, удельная нагрузка и плотность иглопробивных матов из холстов механического способа формирования представлена в таблице 4.

Как можно видеть из данных, представленных в таблице 3 и таблице 4 иглопробивные маты имеют более стабильные параметры при сжимающих нагрузках, чем маты из холстов механического способа формирования. Однако низкая исходная плотность иглопробивных матов может привести к дополнительным затратам для достижения заданных значений плотности теплового экрана.

Теплоизолирующие материалы для теплоэнергетического оборудования наиболее эффективно могут применяться в виде иглопробивных матов с облицовкой из термостойких тканей (тепловых экранов). Температура длительной эксплуатации тепловых экранов из кремнеземных материалов составляет 1000–1100 °С. В связи с этим тепловые экраны из иглопробивных матов из кремнеземных волокон необходимо облицовывать кремнеземной тканью с прошивкой кремнеземной нитью. Как было показано выше плотность тепловых экранов должна находиться в пределах 100–200 кг/м<sup>3</sup> [Луговой, Бабашов и Карпов, 2014]. В зависимо-

*Таблица 3 – Количество слоев в пакете, ориентация волокон и свойства иглопробивного мата из холстов механического способа формирования*

*Table 3 – Thickness, specific load and density of mats made of mechanically formed canvases*

Удельная нагрузка, кПа	Толщина, мм		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	Номер образца		Номер образца	
	1	2	1	2
1,98	5,50	9,58	63,27	76,73
3,96	3,90	5,80	89,23	126,84
4,91	2,60	4,38	133,85	168,35
5,94	2,10	3,96	165,71	185,78
6,89	1,90	3,79	183,16	194,62
10,86	1,80	3,68	193,33	200,46
14,82	1,56	3,61	223,08	195,30

*Таблица 4 – Толщина, удельная нагрузка и плотность иглопробивных матов из холстов механического способа формирования*

*Table 4 – Thickness, specific load and density of needle-punched mats made of mechanically formed canvases*

Удельная нагрузка, кПа	Толщина, мм		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	Номер образца		Номер образца	
	3	4	3	4
1,98	17,11	16,7	44,30	44,09
3,96	10,64	9,5	71,24	77,51
4,91	6,95	6,85	109,06	107,49
5,94	6,04	5,44	125,49	135,35
6,89	5,65	5,1	134,15	144,38
10,86	4,75	4,59	159,57	160,42
14,82	4,35	4,13	174,24	178,29

сти от толщины теплового экрана, марки кремнеземной ткани, плотность теплового экрана будет определяться плотностью иглопробивных матов.

Рассмотрим тепловой экран из кремнеземного иглопробивного мата Суперсилака с двухсторонней облицовкой из кремнеземной ткани марки КТ-11-ТО (ТУ 13.20.46-240-18087444-2018), прошитый кремнеземными нитями марки К11С6-180 (ТУ 23.14.11-241-18087444-2018), изготовленного по технологии производства вязально-прошивных полотен. Зависимость плотности теплового экрана от плотности иглопробивного мата представлена на рисунке 3. На рисунке 3: ряд 1 – толщина теплового экрана 10 мм, ряд 2 – толщина теплового экрана 15 мм, ряд 3 – толщина теплового экрана 20 мм.

Из имеющихся на рынке волокнистых материалов с указанными выше параметрами для теплового экрана выбраны иглопробивные маты Суперсилака производства ЗАО «РБЛ Силика» из кремнеземных штапельных волокон марки КВ-11(7,5) ТУ 5952-184-05786904-2004 (ООО «РБЛ Силика». [Электронный ресурс]). Маты изготовлены аэродинамическим способом формирования. Свойства иглопробивных матов Суперсилака представлены в таблице 5.

Отбор и подготовку образцов для испытаний проводили в соответствии с [5, 6]. Испытания проводили на экспериментальном стенде в условиях свободного сжатия образцов.

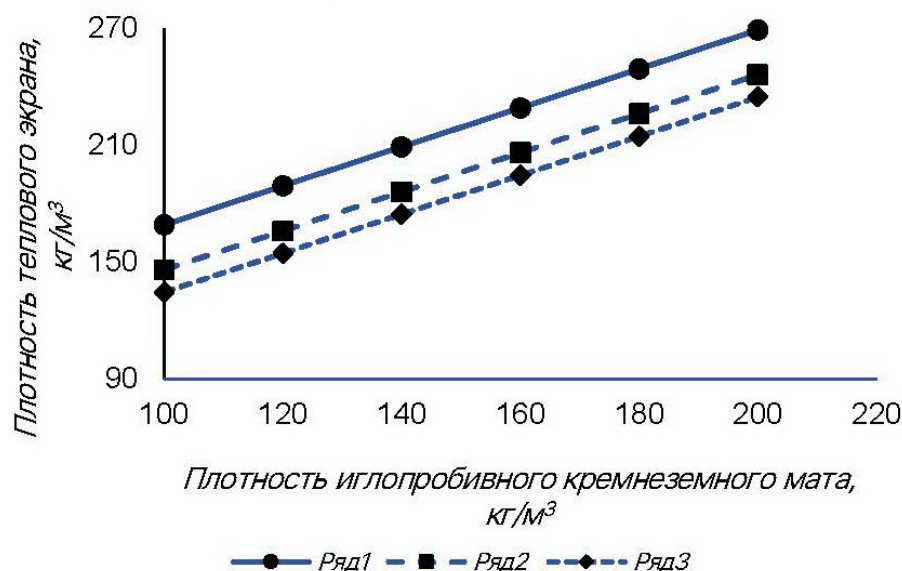


Рисунок 3 – Зависимость плотности теплового экрана от плотности иглопробивного мата

Figure 3 – Dependence of thermal shield density on needle-punch mat density

Таблица 5 – Свойства иглопробивных матов Суперсилака

Table 5 – Properties of needle-punched mats Supersilika

Наименование	Марка	Толщина, мм		Плотность, кг/м³	
		До испытаний	По НТД	До испытаний	По НТД
Иглопробивной мат Суперсилака	С 6	6,95	6	125,95	140
	С 10	11,25	10	106,47	150
	С 20	23,55	20	137,6	170



С целью получения образцов с одинаковой толщиной перед вырезанием пробойником собирался пакет из трех матов марки С6 (образец № 5), двух матов марки С10 (образец № 6) и одного мата марки С20 (образец № 7). Измерение толщины образцов выполнялось штангенрейсмасом типа ШРЦ. Толщина, удельная нагрузка и плотность иглопробивных матов Суперсилака представлены в таблице 6.

В таблице 7 представлены изменения толщины образцов от удельной нагрузки в процентах от начальной толщины образцов.

Представленные в таблице 7 данные показывают, что образцы № 5, № 6, № 7 из иглопробивного мата аэродинамического формирования имеют большую величину достоверности аппроксимации.

С целью определения степени связанности случайных величин определена функциональная зависимость между удельной нагрузкой и изменения толщины образцов в виде коэффициента корреляции  $r(X; Y)$ . Коэффициент корреляции представлен в таблице 8. При отрицательных коэффициентах корреляции между случайными величинами  $X$  и  $Y$  увеличение одного показателя удельной нагрузки влечет за собой уменьшение другого показателя толщины образцов.

Как уже говорилось выше, мат Суперсилака (рисунок 4 а) использован в качестве волокнистого наполнителя теплового экрана (рисунок 4 б).

В связи с этим возникает вопрос об изменении плотности теплового экрана от удельной нагрузки. Эксперимент проводили по методике, описанной выше. С целью

*Таблица 6 – Толщина, удельная нагрузка и плотность иглопробивных матов Суперсилака*

*Table 6 – Thickness, specific load and density of needle-punched mats Supersilika*

Удельная нагрузка, кПа	Толщина, мм			Плотность, кг/м <sup>3</sup>		
	Номер образца			Номер образца		
	5	6	7	5	6	7
1,98	16,20	22,5	19,6	162,54	122,23	157,96
3,96	14,20	17,10	19,05	191,78	166,25	162,52
4,91	11,18	15,05	13,86	235,53	241,99	223,37
5,94	10,16	12,2	12,47	259,17	271,31	248,27
6,89	8,57	8,83	10,57	307,26	289,33	292,90
10,86	7,86	8,28	10,37	335,01	310,72	298,55
14,82	7,48	7,71	8,83	352,03	329,53	350,62

*Таблица 7 – Изменение толщины от удельной нагрузки в процентах от начальной толщины образцов*

*Table 7 – Thickness variation with specific load as a percentage of the initial thickness of the specimens*

Удельная нагрузка, кПа	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
1,98	50,96	45,91	53,76	56,56	41,29	53,51	74,27
3,96	33,31	23,80	36,7	35,17	37,17	42,09	57,49
4,91	26,76	19,47	24,23	22,98	30,12	38,31	51,85
5,94	26,33	18,26	22,54	19,97	27,82	34,71	48,20
6,89	25,09	17,47	21,55	18,68	26,47	32,80	44,88
10,86	22,95	16,89	19,71	15,70	26,47	30,58	42,29
14,82	22,06	16,25	19,43	14,38	25,34	29,67	41,38

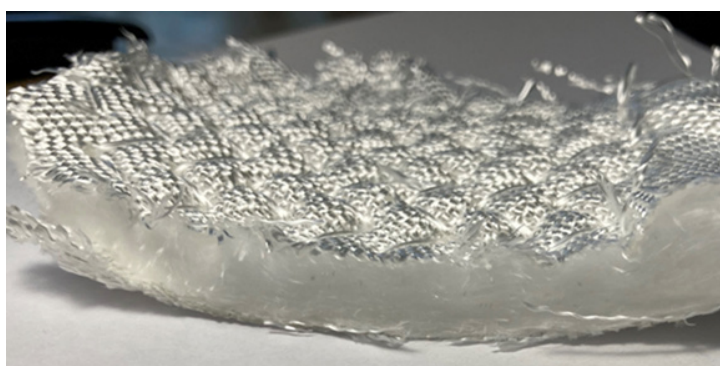
Таблица 8 – Коэффициент корреляции между удельной нагрузкой и изменением толщины в процентах от начальной толщины образцов

Table 8 – Correlation coefficient between specific load and thickness change as a percentage of the initial thickness of the specimens

Номер образца						
1	2	3	4	5	6	7
-0,7264	-0,6467	-0,7183	-0,7521	-0,7783	-0,82048	-0,80186



а



б

Рисунок 4 – Волокнистый иглопробивной мат Суперсила (а) и тепловой экран (б)

Figure 4 – Supersilica fibrous needle-punched mat (a) and heat shield (b)

обеспечения стабильности результатов измерения грузы устанавливались на цилиндр диаметром 56 мм.

На рисунке 5 представлена зависимость изменения толщины теплового экрана (ряд 1) и волокнистого мата Суперсила марки С10 (ряд 2) от удельной нагрузки в процентах от исходной толщины.

На рисунке 6 представлена зависимость плотности теплового экрана (ряд 1) и волокнистого мата Суперсила марки С10 (ряд 2) от удельной нагрузки.

Как можно видеть из данных, представленных на рисунке 5 и рисунке 6, зависимость изменения толщины теплового экрана и волокнистого мата от удельной нагрузки имеет схожий характер. В то время как плотность теплового экрана за счет массы облицовочной ткани изменяется значительно меньше. В разрабатываемом тепловом экране использована кремнеземная ткань с поверхностной плотностью 300 г/м<sup>2</sup>, что близко к значениям линейной плотности зарубежных кварцевых тка-

ней 254–290 г/м<sup>2</sup>, используемых в тепловых экранах (JPS Composite Material. [Электронный ресурс]; Intelligent Materials Pvt. Ltd. [Электронный ресурс]).

### Выводы

1. Исследовано изменение плотности кремнеземных матов из холстов механического способа формирования, иглопробивных матов из холстов механического способа формирования и иглопробивных матов аэродинамического способа формирования от удельной нагрузки.

2. Зависимость изменения плотности матов из холстов механического способа формирования от удельной нагрузки более значительная, чем иглопробивных матов из холстов механического способа формирования.

3. Коэффициент корреляции между удельной нагрузкой и изменением толщины в процентах от начальной толщины образцов выше для образцов из матов Суперсила.



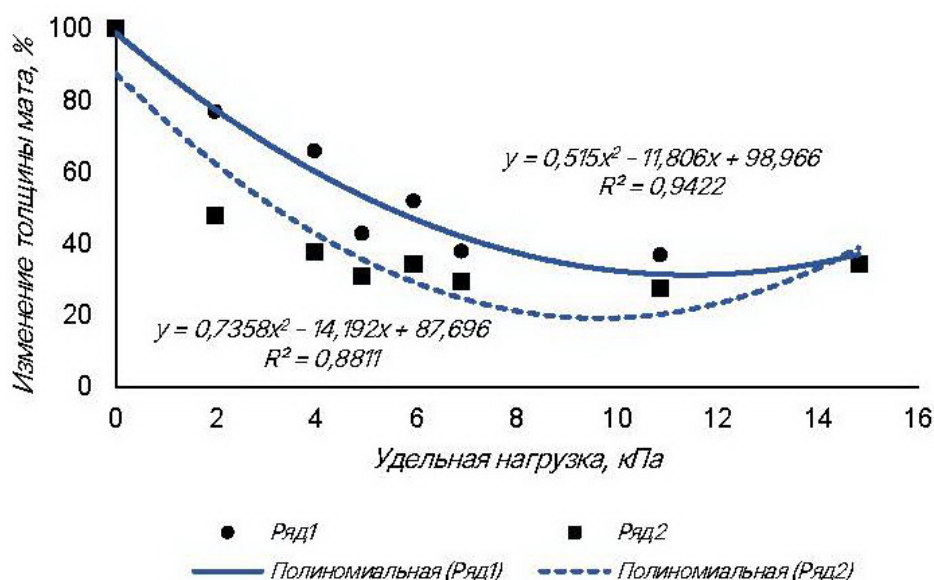


Рисунок 5 – Зависимость изменения толщины волокнистого теплового экрана и волокнистого мата Суперсилика от удельной нагрузки в процентах от исходной толщины мата  
 Figure 5 – Dependence of the change in thickness of the fiber heat shield and Supersilika fibrous mat on the specific load as a percentage of the initial mat thickness

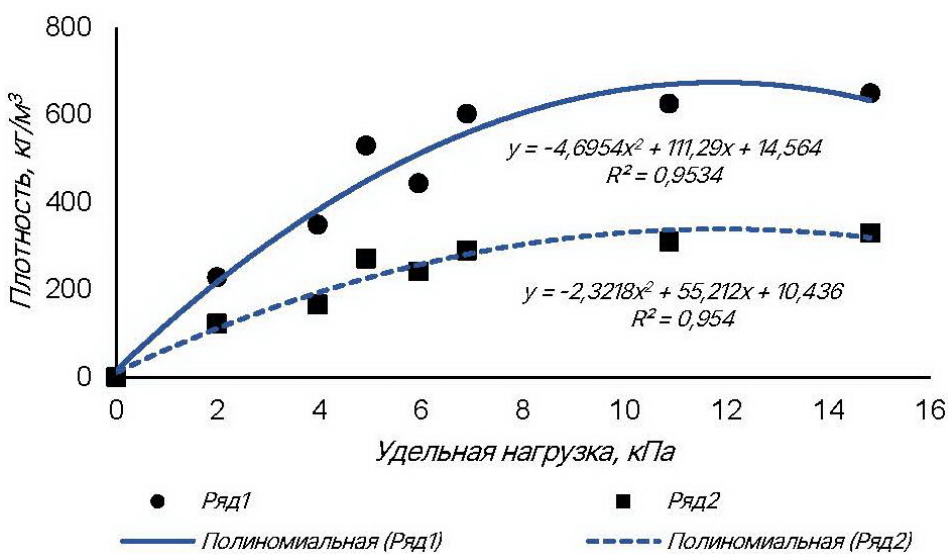


Рисунок 6 – Зависимость плотности теплового экрана и волокнистого мата Суперсилика от удельной нагрузки  
 Figure 6 – Dependence of the density of the heat shield and Supersilika fiber mat on the specific load

4. Исходя из проведенных исследований использование иглопробивных матов Суперсила в тепловых экранах с двухсторонней облицовкой из кремнеземной ткани более предпочтительно.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Киселев, А.М. (2010). Математическое моделирование процесса сжатия волокнистых материалов в массе, *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*, № 5, с. 14–17.

Леденева, И.Н., Кирсанова, Е.А., Севостьянов, П.А., Белгородский, В.С. (2023). Особенности диссипации энергии деформации в валяльно-войлочном материале. *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*, № 1, с. 84–90.

Лисиенкова, Л.Н., Комарова, Л.Ю., Проскуряков, Н.Е. (2021). Исследование деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия. *Известия ТулГУ. Технические науки*. Вып. 4. с. 31–38.

Луговой, А.А., Бабашов, В.Г., Карпов, Ю.В. (2014). Температуропроводность градиентного теплоизоляционного материала, *Труды ВИАМ: электронный научно-технический журнал*, № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/642.pdf> – Дата доступа: 04.06.2023.

Маскайкин, В.А., Махров, В.П. (2021). Исследование теплопроводности многослойной теплоизоляционной обшивки летательных аппаратов в условиях полета. *Вестник Московского авиационного института*, Т. 28. № 4. С. 118–130.

ООО «РЛБ Силка». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://supersilika.ru/rlb-qsilikaq/prodam>, дата обращения [04.06.2022].

Сергеенков, А.П., Захаров, А.А. (2006). Анализ степени сжатия наполнителя на деформационные свойства холстопршивных полотен. *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*, № 6, с. 77–79.

Сергеенков, А.П., Захаров, А.А. (2008). Анализ степени сжатия наполнителя на деформационные свойства холстопршивных полотен. *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*, № 3, с. 75–77.

Chen Zhou, Zhijin Wang and Paul M. Weaver. Thermal-Mechanical Optimization of Folded Core Sandwich Panels for Thermal Protection Systems of Space Vehicles. *International Journal of Aerospace Engineering*, Volume 2017 (online), access from <https://doi.org/10.1155/2017/3030972>.

Gumen V., Maqsood A. et al. (2001). Higt-Temperature Termal Conductivity of Ceramic Fibers, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 10(4), 475.

*Intelligent Materials Pvt. Ltd.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nanoshel.com>, дата обращения [04.06.2022].

*JPS Composite Material.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://jpscm.com/products/astroquartz/>, дата обращения [03.07.2023].

Maqsood Asghari, Gumen Vadim, et al. (2000), Thermal conductivity of ceramic fibres as a function of temperature and press load, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 33 (16), p. 2057–2063.

Q.H. Ma, R. Pan, J.P. Li and H.P. Deng (2022). Study on Dynamic Pressure Control of Air-Breathing Hypersonic Vehicle. *International Symposium on Advanced Launch Technologies (ISALT 2022)*. *Journal of Physics: Conference Series* 2460 (2023) 012040 IOP Publishing doi: 10.1088/1742-6596/2460/1/012040.

### REFERENCES

Kiselev, A.M. (2010). Mathematical modeling of the process of compression of fibrous materials in a mass [Matematicheskoe modelirovanie prottessa szhatiia voloknistykh materialov v masse], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya*

*Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 5, pp. 14–17 (In Russian).

Ledeneva, I.N., Kirsanova, E.A., Sevost'janov, P.A. and Belgorodskij, V.S. (2023). Features of deformation energy dissipation in felted felting material [Osobennosti dissipacii jenerгии deformacii v valjal'no-vojluchnom material]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 1, pp. 84–90 (In Russian).

Lisienkova, L.N., Komarova, L.Ju. and Proskurjakov, N.E. (2021). Investigation of nonwoven materials deformation under cyclic compression conditions [Issledovanie deformacii netkanykh materialov v usloviyah ciklicheskogo szhatija]. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki = News of Tula State University. Technical science*. vol. 4, pp. 31–38 (In Russian).

Lugovoi, A.A., Babashov, V.G. and Karpov, Iu.V. (2014). Temperature conductivity of gradient thermal insulation material [Temperaturoprovodnost gradientnogo teploizoljacionnogo materiala], *Trudy VIAM: elektronnyi nauchno-tehnicheskii zhurnal = Proceedings of VIAM: electronic scientific and technical journal* (online), № 2, available from [04.06.2023] (In Russian).

Maskajkin, V.A., Mahrov, V.P. (2021). Study of thermal conductivity of multilayer thermal insulating cladding of aircraft under flight conditions [Issledovanie teploprovodnosti mnogoslojnoj teploizoljacionnoj obshivki letatel'nykh apparatov v usloviyah poleta], *Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta = Bulletin of the Moscow Aviation Institute*, vol. 28, № 4, pp. 118–130 (In Russian).

"OOO RLB Silika" (online) access from <https://supersilika.ru/rlb-qsilikaq/prodam>, available from [04.06.2022] (In Russian).

Sergeenkov, A.P. and Zaharov, A.A. (2006). Analysis of filler compression degree on deformation properties of canvas fabrics [Analiz stepeni szhatija napolnitelja na deformacionnye svoystva holstoproshivnykh poloten]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 6, pp. 77–79 (In Russian).

Sergeenkov, A.P. and Zaharov, A.A. (2008). Analysis of filler compression degree on deformation properties of canvas fabrics [Analiz stepeni szhatija napolnitelja na deformacionnye svoystva holstoproshivnykh poloten]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, № 3, pp. 75–77 (In Russian).

Chen Zhou, Zhijin Wang and Paul M. Weaver. Thermal-Mechanical Optimization of Folded Core Sandwich Panels for Thermal Protection Systems of Space Vehicles. *International Journal of Aerospace Engineering* (online), vol. 2017, access from <https://doi.org/10.1155/2017/3030972> available from [04.06.2022]

Gumen, V., Maqsood, A. et al. (2001). Higt-Temperature Termal Conductivity of Ceramic Fibers, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 10(4), p. 475.

*Intelligent Materials Pvt. Ltd.* (online), access from <http://www.nanoshel.com> available from [04.06.2022].

*JPS Composite Material* (online), access from <https://jpscm.com/products/astroquartz/> available from [03.07.2023].

Maqsood Asghari, Gumen Vadim, et al. (2000). Thermal conductivity of ceramic fibres as a function of temperature and press load, *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 33(16), pp. 2057–2063.

Q.H. Ma, R. Pan, J.P. Li and H.P. Deng. Study on Dynamic Pressure Control of Air-Breathing Hypersonic Vehicle. *International Symposium on Advanced Launch Technologies (ISALT 2022) Journal of Physics: Conference Series* 2460 [2023] 012040 IOP Publishing doi: 10.1088/1742-6596/2460/1/012040.

Информация об авторах

Information about the authors

Струк Александр Александрович

Начальник производственного участка кремнезёмных материалов, АО «НПО Стеклопластик», Российская Федерация.

E-mail: oosterzon@yandex.ru

Aleksandr A. Struk

Head of the department of silica materials, JSC NPO Stecloplastik, Russian Federation.

E-mail: oosterzon@yandex.ru

### Медведев Александр Викторович

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
АО «НПО Стеклопластик», Российская Федерация.

E-mail: 24091955@mail.ru

### Разумеев Константин Эдуардович

Доктор технических наук, профессор, советник  
ректора, Российский государственный университет  
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
Российская Федерация.

E-mail: ker2210@yandex.ru

### Alexander V. Medvedev

Doctor of Science (in Engineering), Senior Researcher,  
JSC NPO Stecloplastik, Russian Federation.

E-mail: 24091955@mail.ru

### Konstantin E. Razumeev

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Advisor to the  
Rector, Russian State University named after A.N. Kosygin  
(Technology. Design. Art), Russian Federation.

E-mail: ker2210@yandex.ru