

УДК 699.86

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ МИНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Широкородюк В.К., – к.т.н., профессор
Кубанский государственный аграрный университет

Показано влияние структуры волокнистых плит на прочность тепловой изоляции. Теоретически обоснована возможность получения долговечных плит повышенной жесткости из минеральной ваты типа В (ГОСТ 4640) с модулем кислотности до 1,4. Полученные результаты могут быть использованы в производстве плит и при разработке новой редакции ГОСТ 22950 «Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем».

Influence of structure of fibrous plates on durability of thermal isolation is shown. The opportunity of reception durable slabs of higher rigidity on mineral wool of type B (GOST 4640) with the module of acidity up to 1,4 is theoretically proved. The received results can be used in manufacture of plates and by development of new edition of GOST 22950 «Mineral wool slabs of higher rigidity on synthetic bond».

Современное строительство требует применения утеплителя, обладающего тем комплексом свойств, которые в наибольшей мере соответствуют эксплуатационным требованиям, предъявляемым к строительной конструкции.

Вместо необходимости использования универсальных утеплителей на смену все больше приходит проектирование, изготовление и применение эффективных материалов, обладающих оптимальным комплексом свойств как прочностных, так и теплофизических для конкретных условий эксплуатации.

Управление структурой волокнистой теплоизоляции на стадии технологии изготовления – путь реализации этой задачи. В этой связи актуальным является изучение путей повышения основных эксплуатационных качеств, обуславливающих эффективность теплоизоляционного материала, таких как термическое сопротивление, прочность, долговечность.

Управление структурой минераловатных плит непосредственно при

формовании минераловатного ковра обеспечивает получение достаточно разнообразных по эксплуатационным свойствам изделий [1-3]. Так конвейерная технология ВНИПИТеплопроекта, характеризующаяся плитами горизонтально слоистой структуры (ГОСТ 9573) обеспечивает получение теплоизоляции марки D200 с прочностью на сжатие 40 кПа. Технология получения изделий пространственной ориентации, разработанная УралНИИСтромпроектом (ГОСТ 22950), за счет формирования однородной пространственной структуры позволяет получить плиты марки D225 с прочностью на сжатие 100 кПа и выше.

Различные технические решения по изготовлению матов с вертикальной слоистостью (ГОСТ 23307), изделий гофрированной структуры (ГОСТ 22950), Флор баттс В, Руф баттс В (Rockwool) за счет переориентации волокон при формовании ковра или слоя волокон в многослойном изделии обеспечивают получение плит с плотностью до 180 кг/м³ и прочностью на сжатие до 60 кПа.

Наиболее эффективными являются технологии позволяющие обеспечивать регулирования структуры непосредственно при формовании минераловатного ковра.

Жесткость этого каркаса обуславливает механическую прочность слоя и зависит, в свою очередь, от следующих факторов: ориентации волокна по отношению к основному эксплуатационному воздействию; диаметра минерального волокна; величиной отрезка волокна между двумя соседними пересечениями волокон; вида закрепления минераловатного волокна в склейке: жесткого, шарнирного (в зависимости от вида связующего) или фрикционного без связующего (маты минераловатные).

Изменение прочности волокнистой системы за счет управления структурой плиты для плит с пространственной ориентацией волокон, изготовленных по технологии УралНИИСтромпроекта с использованием минеральной ваты типа В (ГОСТ 4640) и синтетического связующего,

можно проследить на двух сериях плит, испытанных по стандартным методикам, характеристики которых приведены в таблицах 1 и 2.

Серии плит были изготовлены на одном составе в разное время с тем отличием, что при формовании обеспечивалось направленное управление ориентацией волокон в теле плиты.

Таблица 1 – Технические характеристики плит (серия С104-С106)

Плотность средняя, кг/м ³	Прочность на сжатие, кПа	Количество синтетического связующего, процент по массе	Количество минерального волокна, кг на 1 м ³ плит
167,01	86,22	5,93	157,11
167,49	77,44	6,53	156,55
170,35	78,67	6,18	159,83
172,46	84,22	5,85	162,36
174,93	81,11	7,05	162,60
185,54	105,11	6,39	173,69
195,33	134,67	6,22	183,18
197,78	105,67	5,89	186,12
198,64	130,00	6,87	184,99
201,83	119,44	6,29	189,12
205,00	134,22	5,71	193,30
214,78	145,28	6,07	201,74
216,35	148,33	5,86	203,67
223,15	141,56	5,91	209,96
225,05	138,67	5,52	212,62
226,43	156,11	5,57	213,83
232,60	138,11	6,27	218,01

Таблица 2 – Технические характеристики плит (серия №15)

Плотность средняя, кг/м ³	Прочность на сжатие, кПа	Количество синтетического связующего, процент по массе	Количество минерального волокна, кг на 1 м ³ плит
181	85	8,05	166,08
187	114	11,25	166,34
188	104	11,56	166,62
190	88	8,81	172,98
193	71	4,17	185,15
194	72	4,03	185,72
195	137	8,73	177,88
196	100	7,27	182,00
197	116	8,30	180,84
198	73	3,33	191,65
200	80	4,18	191,65
201	74	3,79	193,58
204	75	3,63	196,18
205	106	4,47	195,75
206	163	8,92	188,00
209	133	6,12	196,06
211	112	4,08	202,69
214	124	11,67	189,02
216	118	2,93	209,34
217	146	9,11	196,93
217	131	6,29	203,36
222	157	9,42	201,34
222	143	5,37	209,86
226	137	12,56	197,73

Для определения влияния конкретного технического показателя качества на прочность волокнистых плит были определены коэффициенты корреляции между основными качественными характеристиками утеплителя, которые приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции

Номер серии	Плотность средняя (кг/м^3) – прочность на сжатие (кПа)	Коэффициент конструктивного качества (кПа) – прочность на сжатие (кПа)
Серия С104	0,93	0,95
Серия 15	0,64	0,97

Для серии С104-С106 (см. таблицу 1) влияние плотности на прочность (коэффициент корреляции 0,93) определяется плотностью упаковки волокна, то есть количеством волокна в единице объема плиты, и его ориентацией внутри этой упаковки. Влияние коэффициента конструктивного качества, равного отношению прочности к относительной плотности, на прочность (коэффициент корреляции 0,95) обусловлено только ориентацией волокна, так как коэффициент конструктивного качества не зависит от плотности образцов по определению. Именно влиянием структурного фактора можно объяснить различие по величинам прочности при одной и той же средней плотности.

Для плит серии №15 (см. таблицу 2) влияние плотности на прочность (коэффициент корреляции 0,64) по сравнению с плитами первой серии и имеет место снижение величины этого коэффициента, то есть суммарного влияния плотности структуры и структурной ориентации волокон, однако влияние коэффициента конструктивного качества на прочность возрастает (коэффициент корреляции 0,97).

Это показывает, что величина прочности минераловатного утеплителя в большей степени определяется ориентацией волокна в структуре плит, а плотность упаковки обеспечивает сохранения этой ориентации в процессе эксплуатации, то есть формостабильность волокнистой плиты.

В процессе монтажа и первых лет эксплуатации происходит естественное уменьшение длины волокна. Обеспечение формостабильности утеплителя при долговременных гравитационных и вибромеханических

эксплуатационных воздействиях, являются залогом его долговечности [4]. Для плит слоистой горизонтальной структуры диаметр и длина волокна и связанная с ним эластичность, гибкость, повышающие надежность заземления волокна в теле плиты, играют определяющую роль в обеспечении формостабильности изделий. Поэтому для качественных изделий слоистой структуры рекомендуется использовать стеклянное волокно (утеплитель URSA) или базальтовое волокно (утеплитель Rockwool), которые в наибольшей мере обладают всем комплексом перечисленных выше свойств. При коррозии уменьшение длины волокна для плит слоистой структуры чревато значительным снижением ее эксплуатационных свойств, пылением, слеживаемостью, на чем базируется требование к применению для них влагостойкой ваты типа А и В по ГОСТ 4640 с модулем кислотности более 1,4.

Отличие минеральной ваты из шлакового сырья заключается в том, что шлаковые волокна менее эластичные и более короткие по сравнению базальтовым и стеклянным волокном. Для плит пространственной структуры длина волокна играет второстепенную роль, так как даже при длине волокна от 2 до 10 мм, что более характерно для шлакового волокна, расчетное количество пересечений волокон достигает величины, которая многократно превышает величину расчетного эквивалентного размера пор плит пространственной структуры. Расчеты эквивалентного размера пор плит однородной пространственной структуры с 5% связующего приведены в таблица 4.

Таблица 4 – Расчетный эквивалентного размер пор плит однородной

пространственной структуры с 5% связующего, мкм

Плотность плиты, кг/м ³	Диаметр волокна, мкм							
	5	6	7	8	9	10	11	12
100	37	44	51	59	66	73	81	88
125	32	39	45	52	58	65	71	77
150	29	35	41	46	52	58	64	70
175	26	32	37	42	48	53	58	64
200	24	29	34	39	44	49	54	59
225	23	27	32	36	41	46	50	55
250	21	26	30	34	38	43	47	51

Полученные результаты показывают, что эквивалентный размер пор уменьшается при повышении плотности плит и уменьшении диаметра волокон. При одной и той же средней плотности плиты скорость роста эквивалентного размера пор с увеличением диаметра волокна замедляется. Для волокнистых материалов эквивалентный размер пор принимается равным расстоянию между соседними волокнами, если рассматривать сечение, перпендикулярное направлению волокон. Расстояние между осями волокон больше равно эквивалентного размера пор на диаметр волокна. Расчетное количество взаимных пересечений волокон на отрезке длиной 1 мм для плиты однородной пространственной структуры с 5% связующего приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетное количество взаимных пересечений волокон на 1 мм длины, шт

Средняя плотность плиты, кг/м ³	Диаметр минерального волокна, мкм							
	5	6	7	8	9	10	11	12
100	24	20	17	15	13	12	11	10
125	27	22	19	17	15	13	12	11
150	29	25	21	18	16	15	13	12
175	32	26	23	20	18	16	14	13
200	34	28	24	21	19	17	15	14
225	36	30	26	23	20	18	16	15
250	38	32	27	24	21	19	17	16

Из расчетных данных следует, что для однородных волокнистых плит плотностью 200 кг/м³ с 5% связующего и диаметром волокна 10 мкм на отрезке волокна длиной от 2 до 10 мм имеется от 34 до 170

пересечений с другими волокнами (склеек), что является залогом высокой надежности закрепления волокна в теле плиты.

Это позволяет рекомендовать для изготовления плит качественных плит пространственной структуры минеральное сырье техногенного происхождения (щебень из доменного шлака). В этой связи ограничение ГОСТ 22950 в отношении применимости для плит повышенной жесткости (ППЖ-200) минеральной ваты типа В с модулем кислотности до 1,4 является избыточным должно быть устранено в новой редакции стандарта.

При всем многообразии форм адгезионного и фрикционного скрепления минеральных волокон в плитах различной макроструктуры рациональным является такое распределение связующего, когда последнее находится лишь в местах пересечений волокон. Возможности экономии связующего, перерасход которого можно преодолеть лишь на более высоком технологическом уровне, можно показать на примере плит однородной пространственной структуры с содержанием связующего от 1 до 5 % по массе. Если предположить, что все дисперсии связующего имеют вид шарообразных глобул, находящихся только в местах пресечений волокон, расчетный диаметр склейки определится средней плотностью плит, диаметром минерального волокна и количеством синтетического связующего (таблица 6).

Таблица 6 – Расчетный диаметр глобул при 5% содержании связующего, мкм

Средняя плотность плиты, кг/м ³	Диаметр минерального волокна, мкм						
	3	5	7	9	11	13	15
100	3,91	6,51	9,12	11,72	14,33	16,93	19,54
125	3,77	6,28	8,79	11,30	13,81	16,32	18,83
150	3,65	6,09	8,52	10,96	13,39	15,83	18,26
175	3,56	5,93	8,31	10,68	13,05	15,43	17,80
200	3,48	5,80	8,12	10,44	12,76	15,09	17,41

Расчеты показывают, что расчетный диаметр склейки как и эквивалентный размер пор (см. таблицу 4) уменьшается при повышении

плотности плит и уменьшении диаметра волокон. Экспериментальное исследование макроструктуры волокнистой плиты в отличие от эквивалентного размера пор не подтверждает такого рационального распределения связующего. Это доказывает, что распределение связующего в волокнистой плите носит статистически неопределенный и характер, зависящий как от дисперсионных свойств связующего, так и технологических возможностей оборудования по его нанесению на волокно, и имеются значительные резервы дальнейшего сокращения расхода связующего без снижения прочности плит.

Литература

1. Тобольский Г.Ф., Бобров Ю.Л. Минераловатные утеплители и их применение в условиях сурового климата. Л.: Стройиздат, 1981.
2. Бобров Ю.Л. Изделия гофрированной структуры (ИГС) – перспективный вид тепловой изоляции // Строительные материалы. 1992. №4. С. 2–4.
3. Ширококордюк В. К. Минераловатный утеплитель: практические предпосылки развития технологии и оборудования для предприятий строительного комплекса // Строительные материалы. 2000. №6. С.18–21.
4. Ширококордюк, В. К. Формостабильность как фактор долговечности волокнистых теплоизоляционных материалов / В. К. Ширококордюк // Проектирование, строительство и техническая эксплуатация зданий и сооружений: сб. науч. трудов. – Краснодар : КубГАУ, 2002. – С. 191–198.
5. Allcut, E. A. General Discussion on heat transfer. London. 1951. – 91 p.