

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ РАЗМЕР ПОР МИНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ**

Широкородюк В. К. – к. т. н., профессор

*Кубанский государственный аграрный университет*

Приведены результаты исследований воздействия состава волокнистых композитов на эквивалентный размер пор – параметр, значительно влияющий на характер теплопередачи через эффективные теплоизоляционные материалы. Исследовано влияние средней плотности волокнистого материала, диаметра и истинной плотности минерального волокна, содержания связующего на эквивалентный размер пор для плит слоистой структуры. Полученные результаты могут быть использованы для расчета теплопроводности эффективных теплоизоляционных материалов: минераловатных или стекловатных плит на синтетическом связующем.

The results of researches of influence of structure of fibrous composites on the equivalent size pore – parameter considerably influencing character of a heat transfer through effective warmly isolation materials are given. The influence of average density of a fibrous material, diameter and true density of a mineral fibre is investigated, the contents binding on the equivalent size are time for plates of layered structure. The received results can be used for account of thermal transfer of materials for thermal isolation – plates from a mineral wool or glass wool on synthetic binding.

В общем случае теплопередача через ограждающую конструкцию обеспечивается через теплопроводность, конвекцию и излучение. Зависимость теплопередачи от плотности волокнистого материала носит неоднозначный характер. При уменьшении плотности материала теплопередача через теплопроводность снижается, причем для волокнистых материалов

при плотности, меньшей определенного для каждого материала значения, с дальнейшим уменьшением плотности имеет место увеличение теплопроводности [1]. Это объясняется влиянием конвекционной и радиационной составляющих при изменении параметров пор волокнистого материала, одним из которых является эквивалентный размер пор.

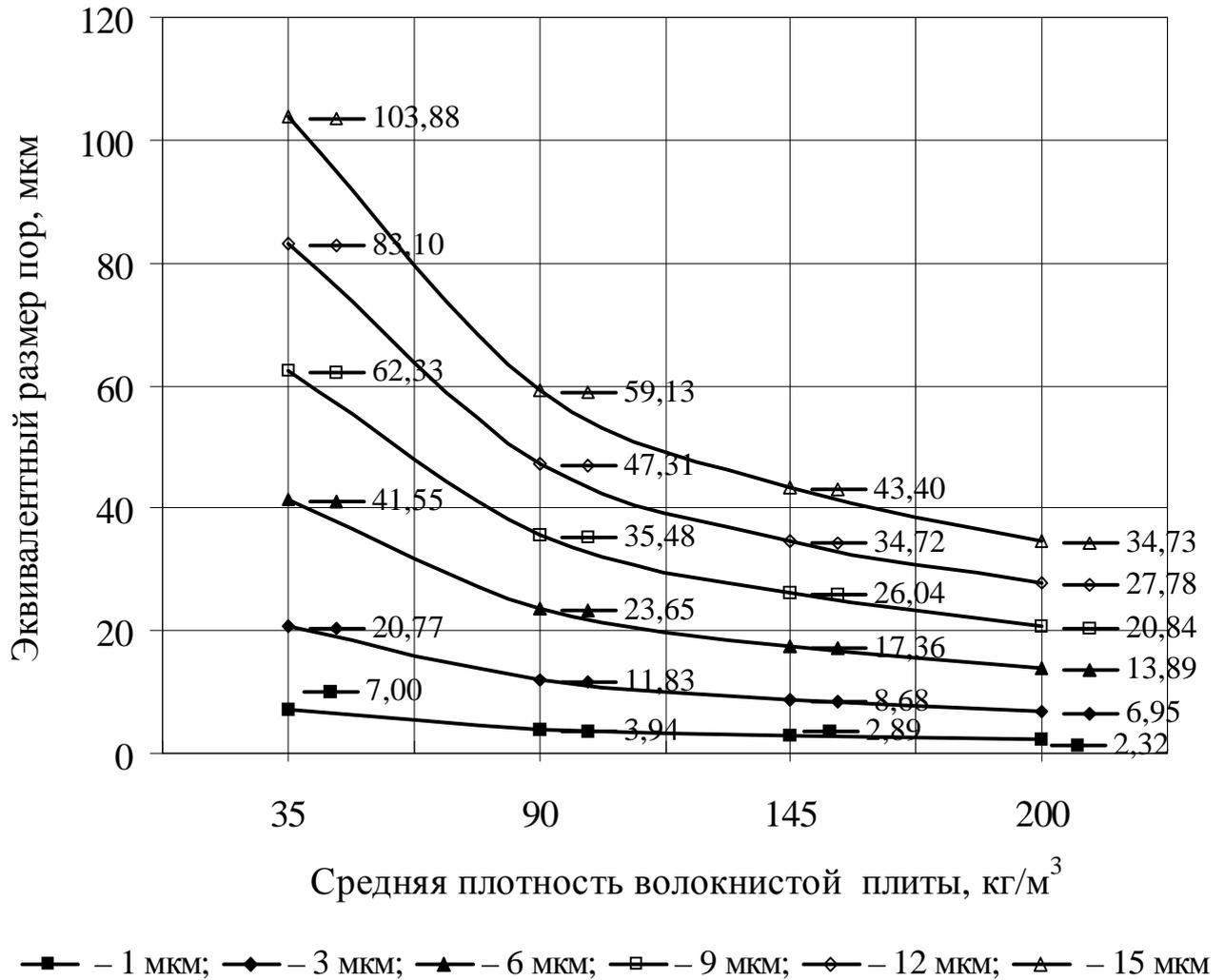
Для волокнистых материалов эквивалентный размер пор принимается равным расстоянию между соседними волокнами, если рассматривать сечение, перпендикулярное направлению волокон.

Исследования проводились методом математического моделирования с использованием разработанной для этой цели математической модели волокнистой плиты различной структуры.

Основные характеристики волокнистого композита:

- средняя плотность волокнистой плиты – до  $0 \text{ кг/м}^3$ ;
- материал матрицы – базальтовые волокна с истинной плотностью  $2800 \text{ кг/м}^3$ ;
- диаметр минерального волокна – до  $15 \text{ мкм}$ ;
- связующее – водорастворимая термореактивная синтетическая смола;
- количество связующего в плите – до  $10 \%$  по массе;
- ориентация волокон в плите – горизонтально-слоистая.

Зависимость эквивалентного размера пор от средней плотности плиты при различном диаметре волокон для плиты слоистой структуры приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Зависимость эквивалентного размера пор от средней плотности плиты при различном диаметре волокон для плиты слоистой структуры**

Анализируя полученные данные, можно сказать следующее. 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 исследованного интервала плотностей (35–200 кг/м<sup>3</sup>) при увеличении диаметра волокна от 1 до 15 мкм при одной и той же средней плотности плиты эквивалентный размер поры увеличивается в 15 раз.

Зависимость эквивалентного размера пор от средней плотности плиты слоистой структуры при различном диаметре волокон и содержании связующего приведена в таблице 1.

**Таблица 1 – Зависимость эквивалентного размера пор от диаметра волокна и средней плотности плит слоистой структуры при различном содержании связующего**

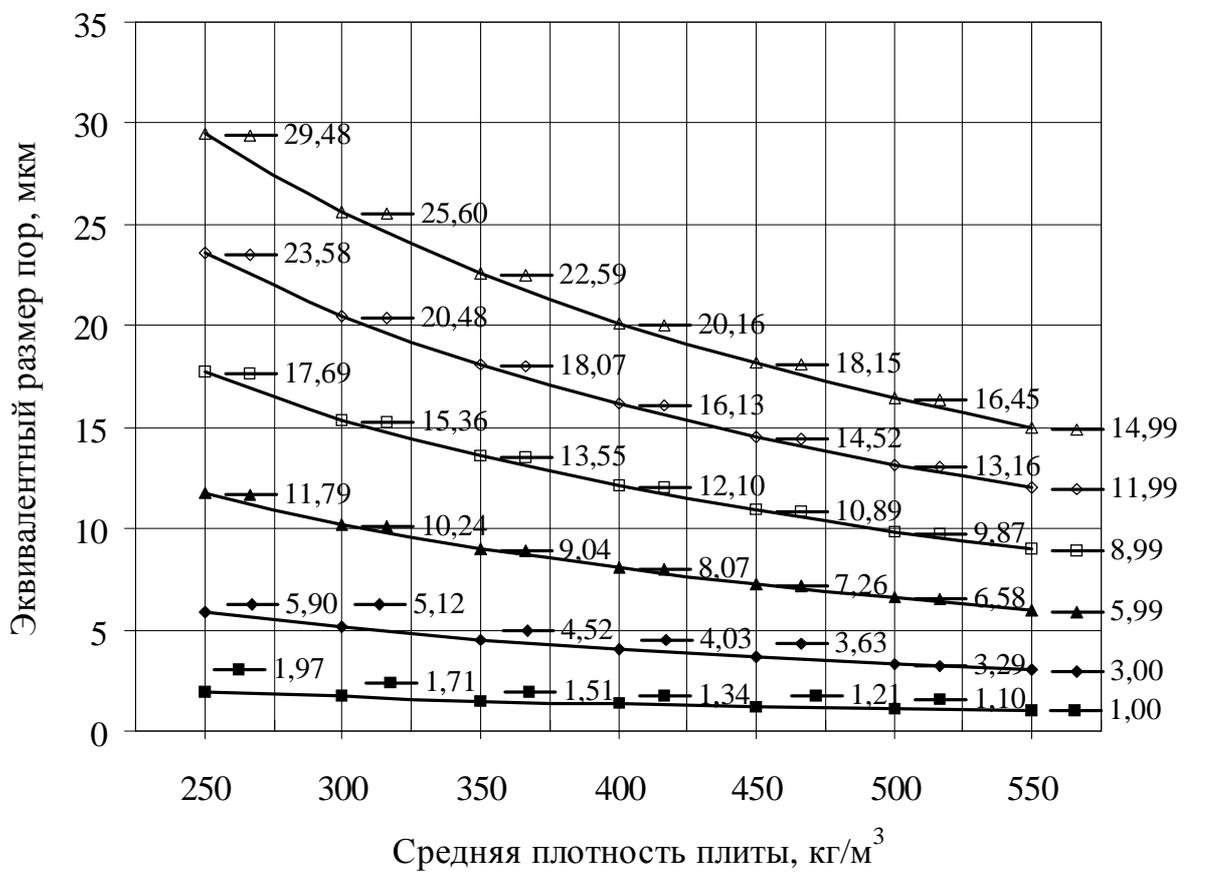
Содержание связующего, % по массе	Средняя плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр минерального волокна, мкм					
		1	3	6	9	12	15
–	100	3,69	11,07	22,13	33,20	44,26	55,33
	150	2,83	8,48	16,97	25,45	33,94	42,42
	200	2,32	6,95	13,89	20,84	27,78	34,73
2,5	100	3,75	11,24	22,49	33,73	44,98	56,23
	150	2,88	8,63	17,26	25,89	34,52	43,15
	200	2,36	7,07	14,14	21,22	28,29	35,36
5,0	100	3,81	11,43	22,86	34,29	45,72	57,16
	150	2,93	8,78	17,57	26,35	35,13	43,91
	200	2,40	7,20	14,41	21,61	28,82	36,02
7,5	100	3,87	11,62	23,25	34,87	46,50	58,13
	150	2,98	8,94	17,88	26,82	35,76	44,71
	200	2,45	7,34	14,68	22,02	29,36	36,71
10,0	100	3,94	11,83	23,65	35,48	47,31	59,13
	150	3,04	9,11	18,21	27,32	36,42	46,56
	200	2,49	7,48	14,97	22,45	29,94	37,42

В приведенном интервале плотностей для каждого диаметра волокна с увеличением количества связующего от 0 до 10 % эквивалентный размер пор увеличивается не более чем на 10 %. Соответственно эквивалентному размеру пор увеличивается величина общей пористости волокнистой плиты. Отсюда следует, что изменение диаметра волокна оказывает наиболее значимое влияние на эквивалентный размер пор. Количество связующего и средняя плотность плит могут варьироваться в более широких пределах без значительного влияния на размер пор и могут назначаться в зависимо-

сти от обеспечения необходимой формостабильности и прочности волокнистого утеплителя [2].

С увеличением средней плотности плиты при прочих равных условиях величина эквивалентного размера поры уменьшается.

Интерес представляет исследование изменения эффективного размера поры при дальнейшем увеличении плотности волокнистого композита. На рисунке 2 показана зависимость эквивалентного размера пор при увеличении средней плотности плиты до  $550 \text{ кг/м}^3$ .



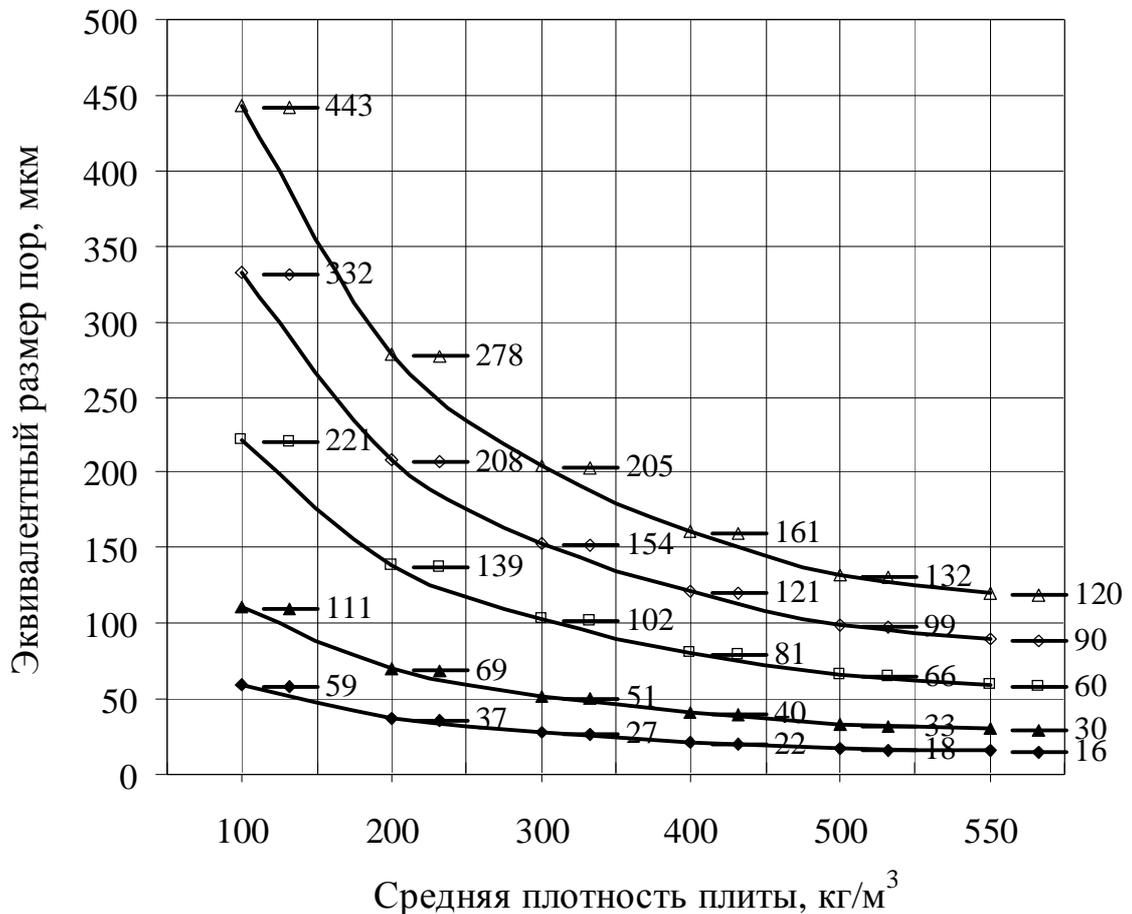
Условные обозначения диаметра волокон:

■ — 1 мкм; ◆ — 3 мкм; ▲ — 6 мкм; ◻ — 9 мкм; ◊ — 12 мкм; ▲ — 15 мкм

**Рисунок 2 – Зависимость эквивалентного размера пор от средней плотности плиты при различном диаметре волокон для плиты слоистой структуры**

Полученные данные показывают, что для плит слоистой структуры величина средней плотности плиты, равная  $550 \text{ кг/м}^3$ , характеризуется равенством диаметра волокна и величины эквивалентного размера пор. Эта тенденция сохраняется при увеличении диаметра волокна до 120 мкм (рис. 3).

Средняя плотность плит, характеризующаяся равенством диаметра волокна эквивалентному размеру пор, может служить условной базой для сравнения различных пространственных упаковок волокна в волокнистую матрицу.

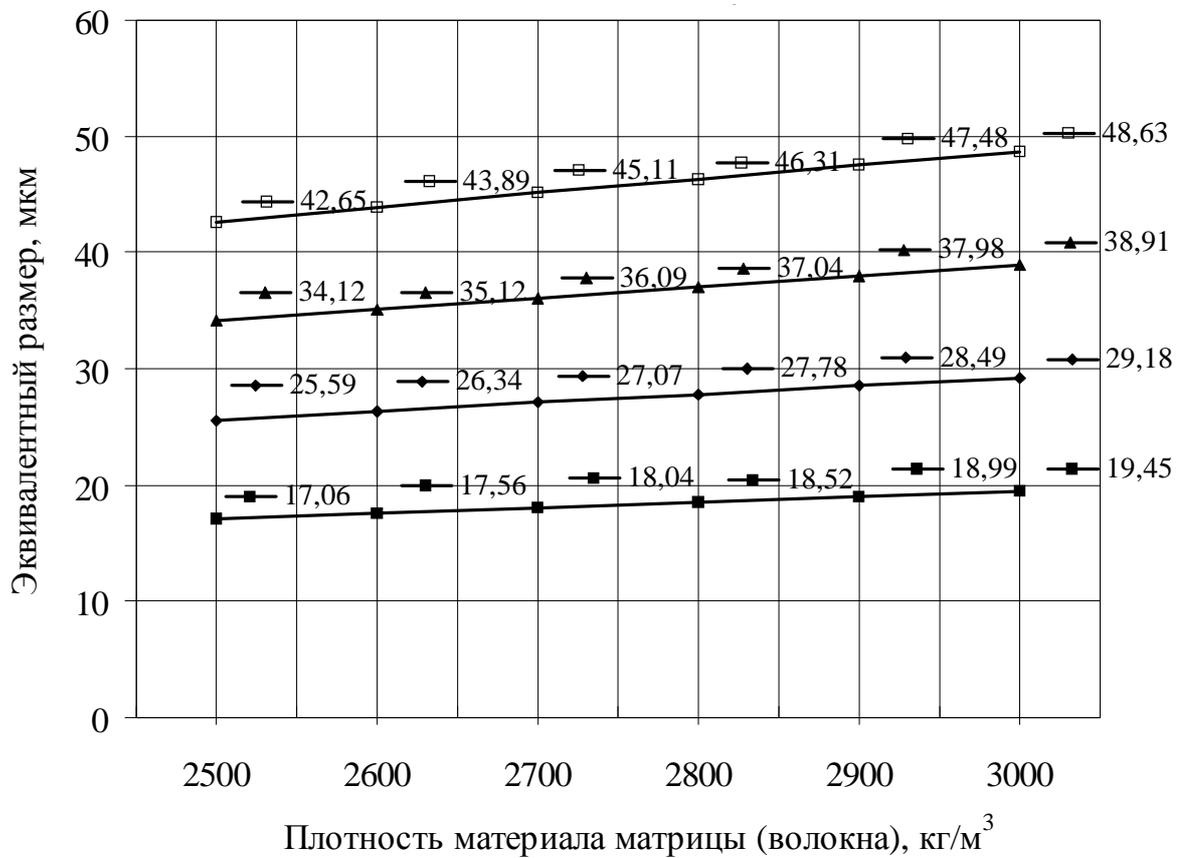


Условные обозначения диаметра волокон:

◆ — 16 мкм; ▲ — 30 мкм; ◻ — 60 мкм; ◊ — 90 мкм; ▲ — 120 мкм

**Рисунок 3 – Зависимость эквивалентного размера пор от средней плотности плиты ( $100\text{--}550\text{ кг/м}^3$ ) при различном диаметре волокон ( $16\text{--}120\text{ мкм}$ ) для плиты слоистой структуры с  $10\%$  содержанием связующего**

Зависимость эквивалентного размера пор от плотности материала матрицы для плиты  $200\text{ кг/м}^3$  при диаметре волокон до  $16\text{ мкм}$  для плиты слоистой структуры представлена на рисунке 4.



Условные обозначения диаметра волокон:

■ – 6 мкм; ◆ – 8 мкм; ▲ – 12 мкм; □ – 16 мкм;

**Рисунок 4 – Зависимость эквивалентного размера пор от плотности материала матрицы для плиты при диаметре волокон до  $16\text{ мкм}$  для плиты слоистой структуры плотностью  $200\text{ кг/м}^3$**

Полученные данные показывают, что влияние материала матрицы (плотность волокна) характеризуется некоторым увеличением эквивалентного размера пор с ростом плотности в интервале 2500–3000 кг/м<sup>3</sup>. Этот рост имеет тенденцию к ускорению с увеличением диаметра волокна.

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами испытаний волокнистых теплоизоляционных плит, применяемых в качестве эффективных теплоизоляционных материалов (табл. 2).

**Таблица 2 – Физико-механические показатели минераловатных плит горизонтально-слоистой структуры**

Плотность	110 кг/м <sup>3</sup>	135 кг/м <sup>3</sup>	160 кг/м <sup>3</sup>	180 кг/м <sup>3</sup>
Эквивалентный размер пор, мкм	18	16	14	13
Диаметр волокна, мкм	5	5	5	5
Плотность материала матрицы, кг/м <sup>3</sup>	2800	2800	2800	2800
Теплопроводность в сухом состоянии, $\lambda$ , Вт/(м·К), не более	$\lambda_{25} = 0,036$ $\lambda_A = 0,042$ $\lambda_B = 0,045$	$\lambda_{25} = 0,038$ $\lambda_A = 0,043$ $\lambda_B = 0,045$	$\lambda_{25} = 0,037$ $\lambda_A = 0,043$ $\lambda_B = 0,046$	$\lambda_{25} = 0,038$ $\lambda_A = 0,045$ $\lambda_B = 0,048$
Паропроницаемость, $\mu$ , кг/(Па·м·с)	0,32	0,32	0,31	0,30
Прочность при 10 % деформации, Па	25	30	45	60

### Список литературы

1. Allcut, E. A. General Discussion on heat transfer. London. 1951. – 91 p.
2. 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.