

УДК 691:539.4:553.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗАЛЬТОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛИТ

Айдаралиев Ж.К., Исманов Ю.Х., Кайназаров А.Т., Абдиев М.С.

*Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

Рассмотрена задача оптимизации состава и свойств базальт волоконных композиционных плит повышенной жесткости для теплоизоляции зданий и сооружений для усредненных климатических условий. Матрица композиционных теплоизоляционных плит формировалась с помощью тонких волокон, полученных из базальта. Базовым наполнителем для полученных матриц из волокна служила смесь глины и поливинилацетатной дисперсии. Подбор оптимального состава материала для формируемых плит проводился на первом этапе экспериментально, а на втором этапе, на основе полученных экспериментальных данных, подбирались статистические модели для исследования различных характеристик плит. Функции оптимизации в рассматриваемых модельных экспериментах зависели от четырех независимых переменных. В качестве таких переменных параметров брались значения процентного содержания огнеупорной глины и поливинилацетатной дисперсии в материале плит, значения температуры и времени тепловой обработки, прошедших предварительную сушку плит. Базовая матрица таких плит формировалась из волокон на основе базальта. В качестве функций оптимизации рассматривались значения плотности и степень сжимаемости материала плит. Полученные результаты позволили определить оптимальные рецептурно-технологические параметры изготовления плит на базе волокон из базальта. Из материала с оптимизированным составом изготавливались теплозащитные плиты из базальтового волокна, предназначенные для использования в температурном диапазоне от -100 до $+250$ °С.

Ключевые слова: оптимизация, плиты из базальтового волокна, глина, поливинилацетатная дисперсия, плотность, сжимаемость

DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF THE MATERIAL FOR THE MANUFACTURE OF BASALT FIBER COMPOSITION PLATES

Aydaraliev Zh.K., Ismanov Yu.Kh., Kaynazarov A.T., Abdiev M.S.

*Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek,
e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

The task of optimizing of the composition and properties of basalt fiber-reinforced composite plates of increased rigidity for thermal insulation of buildings and structures for average climatic conditions was considered. The matrix of composite heat-insulating plates was formed with the help of fine fibers obtained from basalt. The base filler for the resulting fiber matrices was a mixture of clay and a polyvinyl acetate dispersion. The selection of the optimal composition of the material for the formed plates was carried out at the first stage experimentally, and at the second stage, on the basis of the experimental data obtained, statistical models were selected to study various characteristics of the plates. The optimization functions in the model experiments under consideration depended on four independent variables. As such variables, we took the values of the percentage of refractory clay and of the polyvinyl acetate dispersion in the plate material, the values of temperature and the time of heat treatment of plates, which were preliminary dried. The base matrix of such slabs was formed from basalt-based fibers. The functions of density and degree of compressibility of the plate material were considered as optimization functions. The results obtained allowed us to determine the optimal technological parameters for the manufacture of plates based on basalt fibers. The basalt fiber plates for heat insulation, made for use in the temperature range from -100 to $+250$ °С, were made from a material with an optimized composition.

Keywords: optimization, basalt fiber plates, clay, polyvinyl acetate dispersion, density, compressibility

Широкомасштабные исследования в области материаловедения и механики материалов позволили создать широкий спектр материалов различного назначения. Важное место в этих исследованиях занимают теоретические и экспериментальные результаты, полученные при разработке композиционных материалов, или композитов. Одним из важных направлений исследований в области создания композиционных материалов являются работы по теоретическому обоснованию и производству материалов волоконного типа.

Материалы, представляющие собой соединение матрицы из базальтовых волокон

и наполнителей, можно, без сомнений, отнести к классу композитных материалов [1–3]. Матрицей таких материалов всегда являются волокна из базальта. Поэтому изменять характеристики таких материалов можно только за счет регулирования свойств и содержания наполнителей, температурной обработки смеси, формирующей плиты из этих материалов [4–6].

Цель исследования: разработка методики подбора оптимального состава материалов на основе базальтового волокна с целью улучшения характеристик плит, изготовленных из этого материала.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	Значение факторов			
	X ₁ – глина, %	X ₂ – ПВАД, %	X ₃ – температура термообработки, °С	X ₄ – время термообработки, мин
–1	0	0	100	20
0	10	5	150	40
1	20	10	200	60

Таблица 2

План и результаты эксперимента

№ п/п	Нормализованные переменные				Натуральные переменные				Результаты эксперимента	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	X ₁ – огнеупорная глина, %	X ₂ – ПВАД, %	X ₃ – температура термообработки, °С	X ₄ – время термообработки, мин	Y ₁ – значение плотности, кг/м ³	Y ₂ – величина сжимаемости, %
1	+	+	+	+	20	10	200	60	117	3,45
2	+	+	+	–	20	10	200	20	107	58
3	+	+	–	+	20	10	100	60	127	1,3
4	+	+	–	–	20	10	100	20	138	10,2
5	+	–	+	+	20	0	200	60	97	27,41
6	+	–	+	–	20	0	200	20	78	24,36
7	+	–	–	+	20	0	100	60	67	30,76
8	+	–	–	–	20	0	100	20	77	23,36
9	–	+	+	+	0	10	200	60	83	15,66
10	–	+	+	–	0	10	200	20	95	15,56
И	–	+	–	+	0	10	100	60	95	9,4
12	–	+	–	–	0	10	100	20	93	14,93
13	–	–	+	+	0	0	200	60	62	26,46
14	–	–	+	–	0	0	200	20	59	23,43
15	–	–	–	+	0	0	100	60	56	21,6
16	–	–	–	–	0	0	100	20	73	0,63
17	+	0	0	0	20	10	150	40	177	5,0
18	–	0	0	0	0	5	150	40	106	2,4
19	0	+	0	0	10	10	150	40	116	24,53
20	0	–	0	0	10	0	150	40	98	5,76
21	0	0	+	0	10	5	200	40	119	5,76
22	0	0	–	0	10	5	100	40	100	0,26
23	0	0	0	+	10	5	150	60	119	2,73
24	0	0	0	–	10	5	150	20	119	3,49

Материалы и методы исследования

Матрица композиционных теплоизоляционных плит формировалась с помощью тонких волокон, полученных из базальта. Базовым наполнителем для полученных матриц из волокна служила смесь глины и поливинилацетатной дисперсии.

Тестовые плиты из базальтового волокна и наполнителей получали в специальных формах, размеры которых подбирали в соответствии с требованиями ГОСТа для теплоизоляционных плит. Давление, при котором происходило производство плит, подбирали экспериментально, так же как и концентрации компонентов наполнительной смеси [7].

Формы с волоконной матрицей и наполнителями подвергались тепловой обработке при температурах

не меньше 110 °С и времени обработки от четырех до пяти часов. После контроля полученных плит на однородность структуры они подвергались дальнейшей тепловой обработке уже при более высоких температурах в диапазоне от 150 до 210 °С, причем длительность такой обработки значительно уменьшалась, от значения 20 минут до одного часа. Непрерывное контролирование температурного режима осуществлялось дистанционно, посредством методов голографической интерферометрии [8, 9].

Подбор оптимального состава материала для формируемых плит проводился на первом этапе экспериментально, а затем, на основе полученных экспериментальных данных, подбирались статистические модели для исследования различных характеристик плит.

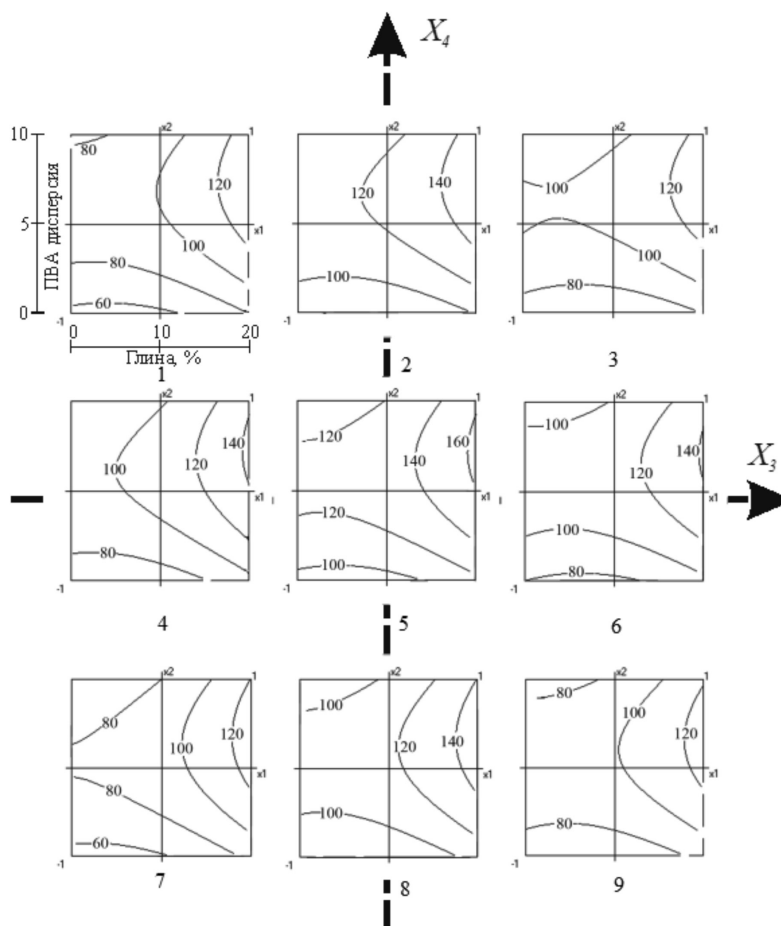


Рис. 1. Номограммы плотности плит из базальтового волокна в девяти координатных положениях пространства факторов X_3, X_4

Модельный эксперимент проводился на базе четырех параметров [10] (табл. 1 и 2). В качестве таких переменных параметров брались: X_1 – огнеупорная глина, %; X_2 – поливинилацетатная дисперсия, %; X_3 – значение температуры тепловой обработки, °C; X_4 – значение времени тепловой обработки, мин. Базовая матрица формировалась из волокон на основе базальта.

Уровни варьирования четырех факторов представлены в табл. 1. В качестве параметров оптимизации брали: Y_1 – значение плотности, кг/м³, и Y_2 – величина сжимаемости, %.

Экспериментальные результаты, обработанные методами статистики, позволили разработать две математические модели:

1. Для плотности материала плит:

$$Y_1(\text{кг/м}^3) = 130,583 + 17,944x_1 + 10,917x_2^2 + 7,125x_1x_2 - 3,25x_1x_3 - 1,75x_1x_4 + 13,556x_2 - 23,583x_2^2 - 0,875x_2x_3 + 3,375x_2x_4 + 2,833x_3 - 21,083x_3^2 - 0,25x_3x_4 + 2,444x_4 - 11,583x_4^2. \quad (1)$$

Модель (1) показала, что плотность базальтовых плит увеличивается с увеличением содержания глины ($b_1 = 17,944$). Содержание ПВАД ($b_2 = 13,556$) также повышает плотность, но его содержание должно быть

оптимальным из-за наличия отрицательного значения $b_{22} = -23,583$. Факторы x_3 и x_4 существенного влияния на плотность не оказывают.

2. Для характеристик, определяющих степень сжатия материала плит:

$$Y_2(\%) = 3,027 + 0,708x_1^2 - 4,287x_1x_2 - 2,448x_1x_3 - 1,212x_1x_4 - 4,609x_2 + 12,153x_2^2 - 1,293x_2x_3 - 3,197x_2x_4 + 1,968x_3 - 0,633x_3x_4 + 0,947x_4. \quad (2)$$

Вывод, который можно сделать исходя из модели (2) – ПВАД сильно снижает возможность сжатия плит из базальтовых волокон ($b_2 = -4,609$), а рост значения температуры термической обработки способствует увеличению способности к сжатию.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование характеристик плит из базальтового волокна проводилось на произвольных девяти координатных положениях пространства факторов X_2, X_4 . Также учитывалось влияние изменения содержания ПВАД – x_2 и глины – x_1 в материале плиты (рис. 1). Рис. 1 показыва-

ет, что при увеличении содержания глины до максимума, равного 20%, а добавки ПВАД до оптимального значения, равного 5–10%, плотность материала увеличивается от значения 6 кг/м^3 до 160 кг/м^3 (точка 5). Сравнение точек для всех номограмм от 1 до 9 (рис. 1) показывает, что плотность для $x_1 = 1$ увеличивается при росте температуры до 150°C , а при значении температуры вблизи 200°C плотность слегка уменьшается. Из номограммы также видно, что максимальная плотность в 160 кг/м^3 достигается в точке 5 – вблизи центра факторного пространства. Номограммы 7–9 (рис. 1) показывают закономерности изменения плотности плит из базальтового волокна, при условии, что температура нарастает от 110 до 210°C , а время тепловой обработки минимально и равно 19 мин. Из номограмм видно, что наибольшее значение плотности в 145 кг/м^3

получается при значении температуры термической обработки равном 155°C . При этом оптимальное значение содержания ПВАД в материале лежит в пределах от 3,75 до 10%. Содержание глины при этом находится на максимуме, т.е. равно 20%. Дальнейшее повышение температуры тепловой обработки приводит к небольшому снижению значения плотности в этой области до 120 кг/м^3 . Анализ плотности плит из базальтового волокна, выдержка которых равна 40 мин (номограммы 4–6 на рис. 1), показывает, что наибольшее значение плотности материала, равное $\rho = 160 \text{ кг/м}^3$, достигается при том же составе материала плиты – ПВАД 5–10% и глины 20%. Если повысить значение температуры тепловой обработки до 210°C , то происходит понижение плотности плит из базальта до значения $\rho = 145 \text{ кг/м}^3$, при условии, что состав материала остается неизменным.

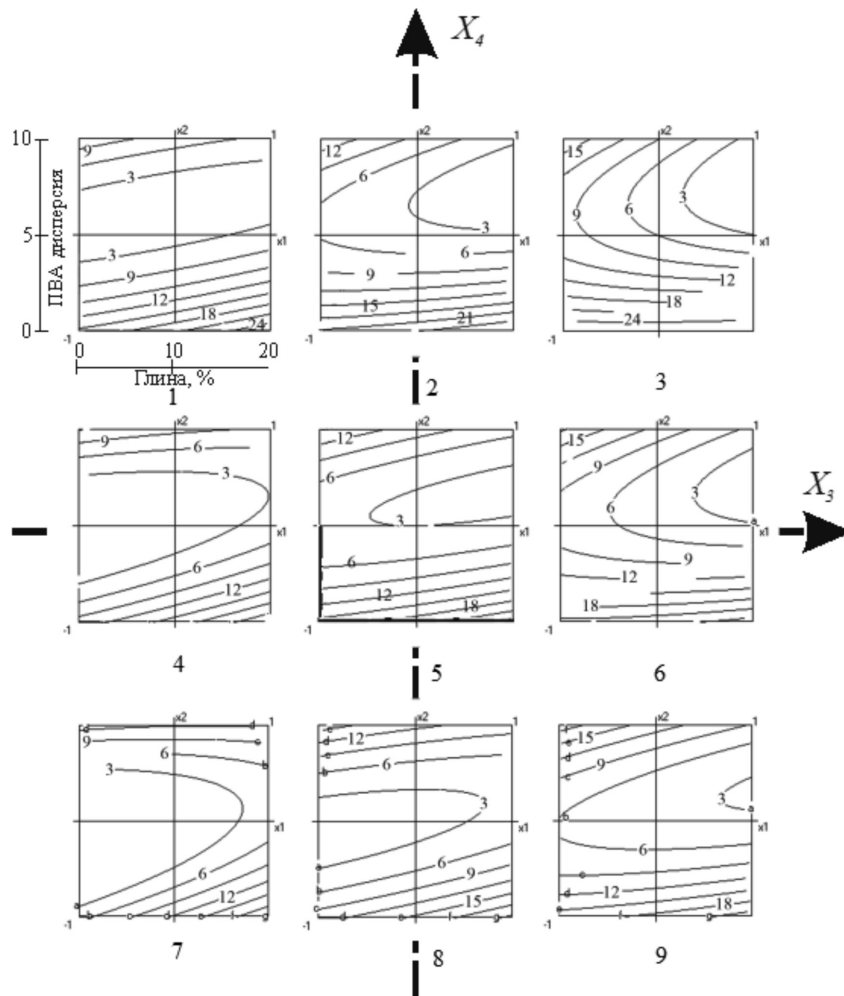


Рис. 2. Номограммы сжимаемости плит из базальтового волокна в девяти координатных положениях пространства факторов X_3X_4

Номограммы 1–3 (рис. 1) для плотности плит из базальта, которые подвергаются тепловой обработке в течение 60 мин, показывают, что происходит небольшое снижение плотности по сравнению с тем, что имелось при длительности тепловой обработки материала плит в течение 40 мин. Для показателя сжимаемости плит из базальтового волокна (рис. 2) характерно то, что для всех 9 координатных положений пространства факторов x_3 и x_4 присутствует оптимальная зона, в которой сжимаемость наименьшая, и она равна 3 мм. Для этой зоны содержание ПВАД изменяется в пределах от 6 % до 8 %, а глины от 11 % до 21 %.

Выводы

Исследованы характеристики композиционных материалов на базе базальтовых волокон. Подбор оптимального состава базальтоволокнистых композиционных плит проводился с помощью моделирования, использующего экспериментальные результаты и методы статистики. Анализ состояния плит проводился по плотности, сжимаемости и прочности на разрыв. Полученные результаты позволили определить оптимальные технологические параметры изготовления плит на базе волокон из базальта. Из материала с оптимизированным составом изготавливались теплозащитные плиты

из базальтового волокна, предназначенные для использования в температурном диапазоне от -100 до $+250$ °С.

Список литературы

1. Ормонбеков Т.О. Технология базальтовых волокон и изделия на их основе. Бишкек: Технология, 2007. 122 с.
2. Ормонбеков Т.О., Ташполотов И.Т., Айдаралиев Ж.К., Бекболот кызы Б. Плиты базальтовые для теплоизоляции // Известия ВУЗов КР. 2010. № 1–2. С. 37–40.
3. Ормонбеков Т.О. Технология базальтовых волокон и изделия на их основе. Бишкек: Технология, 2009. 122 с.
4. Ормонбеков Т.О. Техника и технология производства базальтовых волокон. Бишкек: Илим, 2009. 252 с.
5. Ормонбеков Т.О., Байсалов Э.А., Дубинин Ю.Н. Технология, оборудование и производство базальтовых волокон электрическим плавлением пород. Бишкек: Илим, 2010. 96 с.
6. Попенко И.В., Шевченко О.Г. Волокна и теплоизоляционные материалы на их основе. Киев: Укр. НИИТИ, 1985. 32 с.
7. Захарова Ю.В., Лохматова Л.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния композиционных оболочек с дефектами // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. № 11. С. 1–11.
8. Исманов Ю.Х., Исмаилов Д.А., Жумалиев К.М., Алымкулов С.А. Эффект саморепродуцирования в голографии // Материалы VI Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2017. С. 646–647.
9. Ismanov Y.Kh., Tynyshova T.D., Aidaraliev Z.K. Wide-range holographic interferometer. Optical Engineering. 2018. V. 57. No. 12. 124106. DOI: 10.1117/1.OE.57.12.124106.
10. Атырова Р.С. Оптимизация прочности базальтовых композиционных плит // Вестник Ошского государственного университета. 2015. № 1. С. 165–169.