

УДК 539.4+539.3

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/01>

ДВУХСЛОЙНЫЙ КОМПОЗИТ, АРМИРОВАННЫЙ БАЗАЛЬТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ

©*Айдаралиев Ж. К.*, SPIN-код: 9538-9938, канд. техн. наук, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, г. Бишкек, Кыргызстан, janlem@mail.ru

©*Абдиев М. С.*, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, г. Бишкек, Кыргызстан, m_abдиев@mail.ru

©*Исманов Ю. Х.*, ORCID: 0000-0001-8176-2602, SPIN-код: 1183-7001, д-р физ.-мат. наук, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова, г. Бишкек, Кыргызстан, i_yusupjan@mail.ru

TWO-LAYER COMPOSITE REINFORCED WITH BASALT FIBERS OF VARIOUS LENGTHS

©*Aydaraliev Zh.*, SPIN-code: 9538-9938, Ph.D., Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyzstan, janlem@mail.ru

©*Abdiev M.*, Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyzstan, m_abdiev@mail.ru

©*Ismanov Yu.*, ORCID: 0000-0001-8176-2602, SPIN-code: 1183-7001, Dr. habil., Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov, Bishkek, Kyrgyzstan, i_yusupjan@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы создания композитов, использующих в качестве арматуры длинные, непрерывные по всей длине конструкции, и короткие базальтовые волокна, и, на их основе, многослойных композиционных материалов. Рассмотрено математическое описание прочностных свойств многослойных композиционных материалов, созданных на основе слоев композитов, использующих в качестве арматуры длинные, непрерывные по всей длине конструкции, и короткие базальтовые волокна. Результаты теоретических исследований показали, что многослойный композиционный материал имеет улучшенные свойства. Первый слой материала, представляющий собой слой арматуры из непрерывных волокон, обеспечивает прочность на растяжение и изгиб. Второй слой композиционного материала обеспечивает теплоизоляционные свойства и прочность на сжатие и деформацию. Этот слой состоит из композита, арматура которого представляет собой короткие волокна. Показано, что многослойный композиционный материал, представляющий собой объединение композитов, созданных на основе длинных непрерывных и коротких волокон, работает как единая система. Первый слой композита, созданного на основе непрерывных волокон, работает на растяжение и изгиб, второй слой, созданный на основе коротких волокон, определяет прочностные характеристики при сжатии и деформации. С целью подтверждения теоретического результата были проведены работы по созданию композитов на основе длинных и коротких базальтовых волокон. При создании слоистого композита в качестве первого компонента была использована теплоизоляционная плита, которая была армирована кусками базальтового волокна. Для производства таких плит была разработана установка для получения кусков из базальтового волокна и дальнейшего равномерного распределения этих



кусков в композитной плите. Получен многослойный композиционный материал с улучшенными свойствами на основе длинных и коротких базальтовых волокон. Композитная плита армировалась сеткой, собранной из непрерывных базальтовых волокон.

Abstract. The article considers the issues of creating composites using long, continuous structures along the entire length of the structure, and short basalt fibers, and, based on them, multilayer composite materials as reinforcement. A mathematical description of the strength properties of multilayer composite materials based on layers of composites using long, continuous along the entire length of the structure, and short basalt fibers as reinforcement is considered. The results of theoretical studies showed that the multilayer composite material has improved properties. The first layer of material, which is a layer of reinforcement made of continuous fibers, provides tensile and bending strength. The second layer of composite material provides thermal insulation properties and compressive and deformation strength. This layer consists of a composite whose reinforcement is short fibers. It is shown that a multilayer composite material, which is a combination of composites created on the basis of long continuous and short fibers, works as a single system. The first layer of the composite, created on the basis of continuous fibers, works in tension and bending, the second layer, created on the basis of short fibers, determines the strength characteristics during compression and deformation. In order to confirm the theoretical results, work was carried out to create composites based on long and short basalt fibers. When creating a layered composite, a heat-insulating plate was used as the first component, which was reinforced with pieces of basalt fiber. For the production of such plates, a plant was developed to obtain pieces of basalt fiber and further uniform distribution of these pieces in a composite plate. A multilayer composite material with improved properties based on long and short basalt fibers is obtained. The composite slab was reinforced with a mesh assembled from continuous basalt fibers.

Ключевые слова: композит, непрерывная фаза, дискретная фаза, рубленное короткое базальтовое волокно, длинное непрерывное базальтовое волокно, многослойный композит.

Keywords: composite, continuous phase, discrete phase, chopped short basalt fiber, long continuous basalt fiber, multilayer composite.

Введение

Композит — материал, состоящий, по меньшей мере, из двух компонентов, отделенных друг от друга [1–3]. Сочетая различные составляющие компоненты можно получить композиционный материал, имеющий свойства, кардинально отличающиеся от свойств каждой из составляющих компонент по отдельности [4–6].

Обобщенный состав композиционного материала можно описать следующим образом [7–9]:

- Матрица, которую можно рассматривать как непрерывную фазу (связующий компонент);
- Наполнитель представляет собой дискретную фазу (армирующий компонент);
- межфазная граница (между ними протекают следующие физико-химические взаимодействия — адсорбция, десорбция, диффузия и др.) [10–12].

Среди основных типов композитов можно выделить важный класс композиционных материалов, имеющих широкое практическое применение, многослойные композиты, которые представляют собой набор соединенных между собой композитных слоев, одна часть которых армирована длинными и непрерывными волокнами, другая часть короткими минеральными волокнами. Целью работы являются исследование и разработка метода



производства слоистых композиционных систем, армированных как длинными и непрерывными, так и короткими базальтовыми волокнами.

Материал и методы исследования

При создании композиционного материала важную роль играют такие важные характеристики наполнителя в матрице, как его концентрация, размер, форма, распределение и ориентация (Рисунок 1).

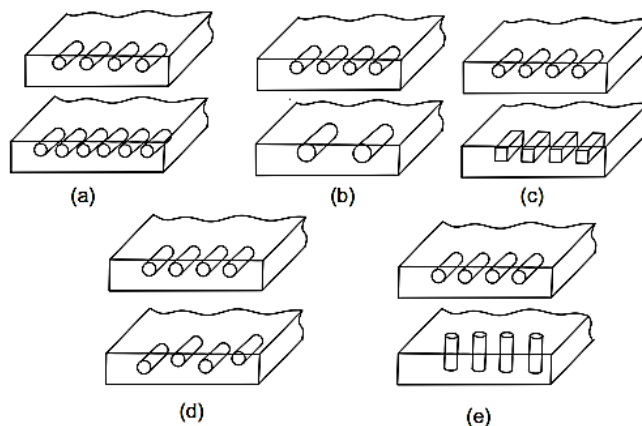


Рисунок 1. Наполнитель в матрице: а — концентрация наполнителя; б — размер наполнителя; с — форма наполнителя; д — распределение наполнителя; е — ориентация наполнителя.

С учетом указанных характеристик наполнителя в матрице, можно получить следующие виды композиционных материалов (Рисунок 2).

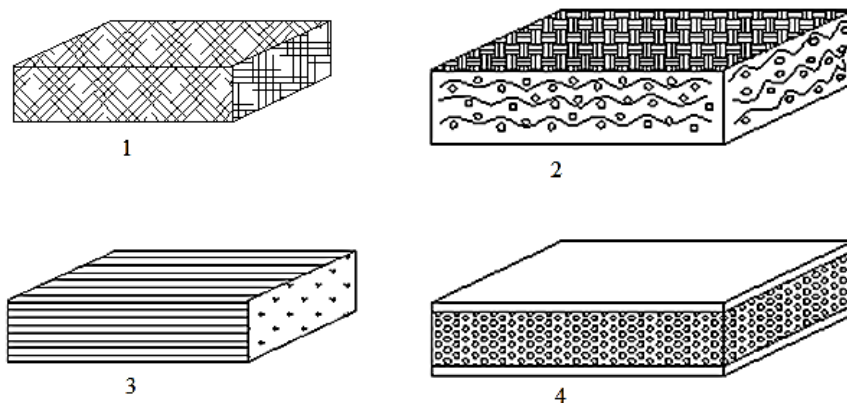


Рисунок 2. Армированные композиционные материалы: 1 — короткими волокнами; 2 — длинными непрерывными волокнами; 3 — волокнами во многих направлениях; 4 — многослойный композит на основе непрерывных и коротких волокон.

Рассмотрим математическое описание многослойный композит.

Если обозначить исследуемую физическую величину композиционного материала через y и, предположив, что она зависит от переменных x_1, x_2, \dots , которые подчиняются требованию линейной аддитивности, указанную физическую величину можно представить в виде:

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots, \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots — объемное содержание исходных компонентов композита, c_1, c_2, \dots — физические характеристики исходных составляющих компонентов композита.

При определении расчетным путем плотности, модуля упругости, предела прочности и других параметров композиционного материала будем пользоваться свойством линейной аддитивности.

Согласно формуле (1) предел прочности композиционного материала, который армирован длинными волокнами (нк), можно представить в виде:

$$\sigma_{нк} = \sigma_{нв} V_{нв} + \sigma_{м1}(1 - V_{нв}), \quad (2)$$

где $\sigma_{нк}$ — прочность композиционного материала, который армирован длинными волокнами, $\sigma_{нв}$ — прочность непрерывного волокна, $V_{нв}$ — объем непрерывного волокна в композите, $\sigma_{м1}$ — прочность связующего компонента (матрицы).

Композиционные материалы, которые армированы базальтовыми короткими волокнами, при деформации ведут себя не так, как композиционные материалы, которые армированы волокнами большой длины [13]. Если длины волокон l незначительно превосходят, так называемое, критическое значение длины волокна $l_{кр}$, то это отличие особенно заметно. В случае приложения нагрузки, достигающей величины разрыва, к композиционному материалу величина силы натяжения на торцах армирующих волокон, имеющих конечную длину, меньше, чем наибольшие значения силы натяжения в длинных волокнах, используемых для армирования. Для недлинных волокон характерно то, что силы натяжения вдоль волокна изменяются. Силы натяжения на концах стремятся к нулю и имеют наибольшее значение на среднем участке, называемом эффективным участком. Объяснить это можно тем, что силы натяжения направлены по касательной вдоль границы взаимодействия волокна матрицы. Критического значения длина волокна достигает, если ее деформация становится достаточно высокой. Уменьшение длины волокна приводит к тому, что волокно перестает деформироваться, а просто вытягивается из матричного слоя. Участки волокна, где силы натяжения падают от значения $\sigma_{кв..max}$ до нулевого, являются не эффективными. Длина этих участков равна $l_{кр} / 2$ (Рисунок 3).

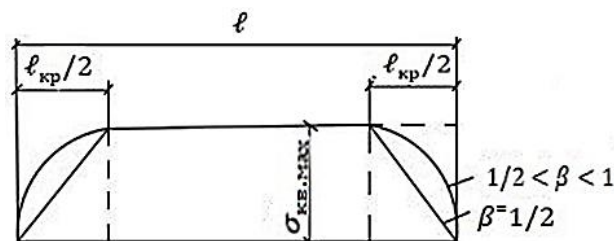


Рисунок 3. Эффективные и неэффективные участки длины коротких волокон в композите.

Зададим характеристику $\beta = S_{кр.} / \sigma_{кв..max}$. Здесь $S_{кр.}$ — площадь под кривой распределения сил натяжения на длине $l_{кр} / 2$ волокна. В этом случае среднее значение сил натяжения $\sigma_{кв..ср.}$ для короткого волокна равно:

$$\sigma_{кв..ср.} = \sigma_{кв.} \left[1 - (1 - \beta) l_{кр} / l \right]. \quad (3)$$

Таким образом, максимальное значение прочности композиционного материала, который армирован недлинными волокнами, определяется соотношением:

$$\sigma_{кв.} = \left[1 - (1 - \beta) l_{кр} / l \right] \sigma_{кв.} V_{кв.} + \sigma_{м2} V_{м2}. \quad (4)$$

Многослойный композиционный материал, представляющий собой объединение композитов, созданных на основе длинных непрерывных и коротких волокон, работает как единая система. Первый слой композита, созданного на основе непрерывных волокон, работает на растяжение и изгиб, второй слой, созданный на основе коротких волокон, определяет прочностные характеристики при сжатии и деформации. Таким образом учет их совместного действия приводит к следующему соотношению, определяющему свойства многослойного композита:

$$\sigma_{сл.к.} = \sigma_{нв} V_{нв} + \sigma_{м1} (1 - V_{нв}) + [1 - (1 - \beta) l_{кр} / l] \sigma_{кв.} V_{кв.} + \sigma_{м2} V_{м2}, \quad (5)$$

где $\sigma_{сл.к.}$ — максимальное значение прочности многослойного композита; $\sigma_{нв}$ — прочность длинного непрерывного волокна; $V_{нв}$ — объем длинного непрерывного волокна; $\sigma_{м1}$ — прочность связующего материала первой матрицы; $\sigma_{кв.}$ — прочность короткого волокна; $\sigma_{м2}$ — прочность связующего материала второй матрицы; $V_{кв.}$ — объем короткого волокна в композите; $V_{м2}$ — объем связующего материала второй матрицы.

Данный композиционный материал имеет улучшенные свойства, обеспечивающие его прочность по отношению к внешней нагрузке любого направления.

При создании слоистого композита в качестве первого компонента была использована теплоизоляционная плита, которая была армирована кусками базальтового волокна. Для производства таких плит была разработана установка для получения кусков из базальтового волокна и дальнейшего равномерного распределения этих кусков в композитной плите (Рисунок 4). Контроль процесса осуществлялся интерферометрическими методами [14–15].

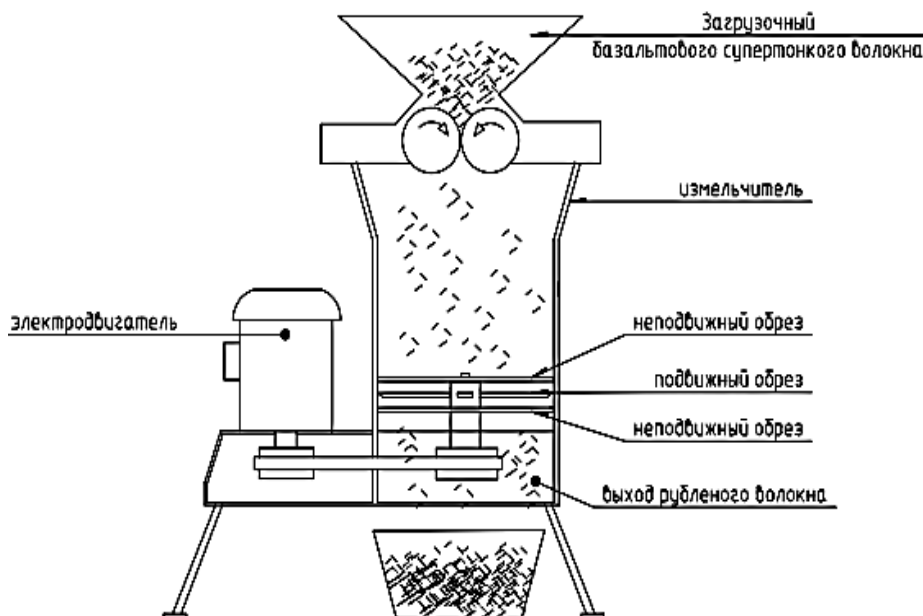


Рисунок 4. Установка для получения рубленного базальтового волокна.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотренная выше установка обеспечивала однородное распределение рубленых базальтовых волокон в матрицах с органическим связующим наполнителем. Получаемая композитная плита имела следующие физико-технические характеристики, указанные в Таблице 1.

Таблица 1.

ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТЫ
 НА ОСНОВЕ РУБЛЕННЫХ КОРОТКИХ ВОЛОКОН

Характеристики	Значение
Теплопроводность, Вт/мК,	0,048
Прочностные характеристики при сжатии для значений деформации в 10%, МПа (кгс/см ²)	0,06
Адсорбция воды, %	1
Характеристика прочности связи слоев, кН/м ²	7

Физико–технические показатели указывают, что данный композит обеспечивает достаточные прочностные характеристики, в том числе характеристика прочности связи слоев. Также обеспечивает теплоизоляцию, так как имеет минимальный коэффициент теплопроводности, удовлетворяющий стандартам теплоизоляционных материалов. Были также проведены исследования деформационных свойств композитной системы на основе рубленного дискретного волокна. График деформации базальтовой плиты приведен на Рисунке 5.

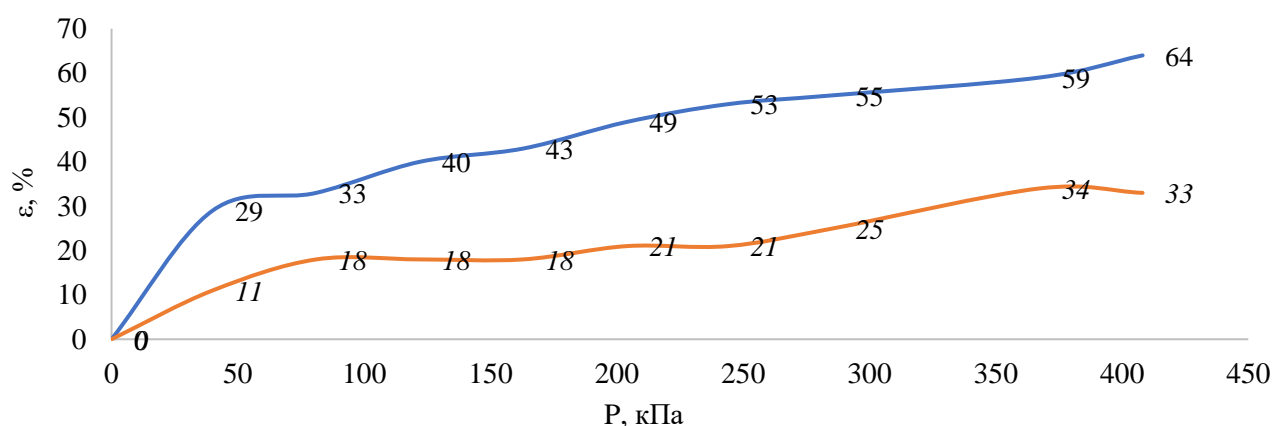


Рисунок 5. Полная (штриховая линия) и остаточная (сплошная линия) деформации в зависимости от величины внешней нагрузки.

Из Рисунка 5 видно, что при воздействии внешних нагрузок в композите деформация не настолько велика, чтобы разрушать форму композитной плиты.

С целью усиления прочности и устойчивости базальтовых плит на основе рубленного короткого волокна и обеспечения крепления при монтаже была использована базальтовая сетка, полученная на основе базальтового непрерывного волокна. Физико-технические характеристики базальтовой сетки приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗАЛЬТОВОЙ СЕТКИ

Наименование	Величина
Разрывная нагрузка	60 кН/м
Размер рулона	1× 50 м
Ячейка	25×25 мм
Относительное удлинение, не более	4%

Сетка из базальтовых волокон обладает сравнительно с другими видами сеточных материалов следующими важными преимуществами:

- сетка не корродируется в нейтральной и агрессивной химической среде;
- значение коэффициента теплопроводности базальтовой сетки в несколько раз ниже, чем металлической;
- обладает малой плотностью и большей прочностью;
- себестоимость ниже, чем у аналогичных материалов.

На основе вышеуказанных компонентов был получен многослойный композит, армированный базальтовой сеткой.

Выводы

Теоретически обоснована возможность получения слоистого композиционного материала с улучшенными физико-механическими свойствами.

Проведено исследование прочностных и деформационных свойств компонентов слоистого композиционного материала, армированных соответственно длинными непрерывными и короткими базальтовыми волокнами.

На основе вышеуказанных компонентов был получен слоистый композит, армированный базальтовой сеткой.

Список литературы:

1. Пашенко А. А., Сербин В. П., Паславская А. П. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. М.: Стройиздат, 1988. 200 с.
2. Ормонбеков Т. О. Прикладные методы расчета конструкции из композиционных материалов. Бишкек: Илим, 1986. 39 с.
3. Колпаков А. Г., Ракин С. И. Деформационные характеристики слоистых композитов при нелинейных деформациях // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т. 45. №5. С. 157-166.
4. Кукужданов К. В. Исследование дисперсии упругих волн в композитах на основе двухскоростной модели // Проблемы прочности и пластичности. 2011. №62. С. 111-118. <https://doi.org/10.32326/1814-9146-2005-67-1-111-118>
5. Трыков Ю. П., Гуревич А. М., Шморгунов В. Г. Комплексные технологии получения слоистых композиционных материалов многоцелевого назначения // Автоматическая сварка. 2009. №11 (679). С. 82-86.
6. Олейников А. И. Оценка жесткости и прочности слоистых композитов // Композиты и наноструктуры. 2017. Т. 9. №2. С. 77-79.
7. Лурье С. А., Соляев Ю. О., Андрюнина М. А., Лыкова Е. Д. Оптимизация демпирующих характеристик слоистых композитных материалов, содержащих волокна с вязкоупругим покрытием // Вестник ПНИНГУ. 2012. №3. С. 98-119.
8. Татаринцева О. С., Углова Т. К., Игонин Г. С. и др. Определение сроков эксплуатации базальтоволоконистых теплоизоляционных материалов // Строительные материалы. 2014. №11. С. 14-15.
9. Веялис С. А., Каминскас А. Ю., Гнип И. Я., Кершулис В. И. Теплопроводность влажных стекловолоконистых и минераловатных плит // Строительные материалы. 2002. №6. С. 38-40.
10. Мясников А. А., Асланова М. С. Влияние химического состава базальтового волокна на его кислотоустойчивость // Стекло и керамика. 1964. №5. С. 18.

11. Айдаралиев Ж. К., Кайназаров А. Т., Исманов Ю. Х., Абдиев М. С., Атырова Р. С., Сопубеков Н. А. Супертонкие волокна на основе алевролита и базальта, добываемых в Кыргызстане // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. №5. С. 109-114. <https://doi.org/10.17513/mjpf.12748>

12. Айдаралиев Ж. К., Исманов Ю. Х., Кайназаров А. Т., Абдиев М. С. Определение оптимального состава материала для изготовления базальтоволокнистых композиционных плит // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3-2. С. 115-119. <https://doi.org/10.17513/snt.37450>

13. Айдаралиев Ж. К., Кайназаров А. Т., Абдиев М. С., Сопубеков Н. А. Разработка технологии получения гипсобазальтовых композитов // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19. №8. С. 103-106.

14. Исманов Ю. Х. Интерферометрия на основе метода бесцелевой радужной голографии // Вестник Киргизского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2015. №4 (40). С. 194-198.

15. Исманов Ю. Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия Национальной Академии наук Киргизской Республики. 2015. №2. С. 20-23.

References:

1. Pashchenko, A. A., Serbin, V. P., & Paslavskaya, A. P. (1988). Armirovanie neorganicheskikh vyazhushchikh veshchestv mineral'nymi voloknami. Moscow, Stroizdat, 201. (in Russian).

2. Ormonbekov, T. O. Prikladnye metody rascheta konstruksii iz kompozitsionnykh materialov. Bishkek, Ilim, 1986. 39. (in Russian).

3. Kolpakov, A. G., & Rakin, S. I. (2004). Deformatsionnye kharakteristiki sloistyykh kompozitov pri nelineinykh deformatsiyakh. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, 45(5), 157-166. (in Russian).

4. Kukudzhanov, K. V. (2005). Investigating the Dispersion of Elastic waves in Composites using a two-velocity Model. *Problems of strength and plasticity*, (67), 111-118. (in Russian). <https://doi.org/10.32326/1814-9146-2005-67-1-111-118>

5. Trykov, Yu. P., & Gurevich, L. M. (2009). Kompleksnye tekhnologii polucheniya sloistyykh kompozitsionnykh materialov mnogotselevogo naznacheniya [Integrated technologies of producing multipurpose layered composite materials]. *Avtomaticheskaya svarka*, (11), 82-86. (in Russian).

6. Oleinikov, A. I. (2017). Otsenka zhestkosti i prochnosti sloistyykh kompozitov [Estimate of Stiffness and Strength of Laminated composites]. *Kompozity i nanostruktury*, 9(2), 77-79. (in Russian).

7. Lure, S. A., Solyaev, Yu. O., Andryunina, M. A., & Lyksova, E. D. (2012). Optimizatsiya dempfiruyushchikh kharakteristik sloistyykh kompozitnykh materialov, sodержashchikh volokna s vyazkouprugim pokrytiem [Optimization of the Damping Properties of Fibrous Composites with viscoelastic Coating]. *PNRPU Mechanics Bulletin*, (3), 98-119. (in Russian).

8. Tatarintseva, O. S., Uglova, T. K., Igonin, G. S., Igonina, T. N., & Bychin, N. V. (2004). Opredelenie srokov ekspluatatsii bazal'tovoloknistyykh teploizolyatsionnykh materialov. *Stroitel'nye materialy*, (11), 14-15. (in Russian).

9. Veyalis, S. A., Kaminskas, A. Yu., Gnip, I. Ya., & Kershulis, V. I. (2002). Teploprovodnost' vlazhnykh steklovoloknistyykh i mineralovatnykh plit. *Stroitel'nye materialy*, (6), 38-40. (in Russian).

10. Myasnikov, A. A., & Aslanova, M. S. (1964). Vliyanie khimicheskogo sostava bazal'tovogo volokna na ego kislotoustoichivost'. *Steklo i keramika*, (5), 18. (in Russian).

11. Aydaraliev, Zh. K., Kaynazarov, A. T., Ismanov, Yu. Kh., Abdiev, M. S., Atyrova, R. S., & Sopubekov, N. A. (2019). Superfine fibers on the Basis of Aleurrolite and Basalt produced in Kyrgyzstan. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, (5), 109-114. (in Russian). [https://doi.org/ 10.17513/mjpf.12748](https://doi.org/10.17513/mjpf.12748)

12. Ajdaraliev, Zh. K., Ismanov, Yu. Kh., Kajnazarov, A. T., & Abdiev, M. S. (2019). Determination of the optimal material composition for the manufacture of basalt fiber composite plates. *Modern High Technologies*, (3-2), 115-119. (in Russian). [https://doi.org/ 10.17513/snt.37450](https://doi.org/10.17513/snt.37450)

13. Aydaraliev, Zh. K., Kaynazarov, A. T., Abdiev, M. I., & Sopubekov, N. A. (2019). The Development of Technologies of Receiving gipso-basalt Composites. *Herald of KRSU*, 19(8), 102-105. (in Russian).

14. Ismanov, Yu. Kh. (2015). Interferometry based on the gapless rainbow holography method. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arhitektury im. N. Isanova*, (4), 194-198. (in Russian).

15. Ismanov, Yu. Kh. (2015). Holographic interferometry based on the Talbot effect. *Izvestiya Nacional'noi Akademii nauk Kyrgyzskoj Respubliki*, (2), 20-23. (in Russian).

Работа поступила
в редакцию 08.03.2020 г.

Принята к публикации
11.03.2020 г.

Ссылка для цитирования:

Айдаралиев Ж. К., Абдиев М. С., Исманов Ю. Х. Двухслойный композит, армированный базальтовыми волокнами различной длины // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №5. С. 12-20. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/01>

Cite as (APA):

Aydaraliev, Zh., Abdiev, M., & Ismanov, Yu. (2020). Two-layer Composite Reinforced With Basalt Fibers of Various Lengths. *Bulletin of Science and Practice*, 6(5), 12-20. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/01>