

## Влияние режимов пропитки на пористую структуру композиционных материалов с волокнистым наполнителем из полипропиленовых волокон

### Influence of impregnation modes on the porous structure of composite materials with fibrous filler made of polypropylene fibers

И.Д. АСМЕТКОВ<sup>1</sup>, Н.И. ГОДИН<sup>1</sup>, А.В. ДЕДОВ<sup>2</sup>

I.D. ASMETKOV<sup>1</sup>, N.I. GODIN<sup>1</sup>, A.V. DEDOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

<sup>1</sup> Russian State University named after A.N. Kosygin, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

dedovs55@rambler.ru

Для оценки пористой структуры композиционных материалов, полученных пропиткой нетканого иглопробивного полотна из полипропиленовых волокон с линейной плотностью 0,66 водной дисперсией полиуретана, использовали степень пропитки полотна и плотность композиционных материалов. Исследована зависимость степени пропитки от зазора между отжимными валами и концентрации полиуретана в водной дисперсии. При концентрации полиуретана в водной дисперсии ниже 15 масс.% и зазоре между отжимными валами меньше 1 мм степень пропитки не превышает 0,3. Для оценки изменения объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанного полотна использовали соотношение между степенью пропитки и плотностью композиционных материалов. Установлено, что при плотности полотна 117 кг/м<sup>3</sup> термообработка пропитанного полотна происходит без изменения объема волокнистого наполнителя. При использовании для армирования композиционных материалов полотна плотностью 80 кг/м<sup>3</sup> объем волокнистого наполнителя в процессе термообработки уменьшается.

**Ключевые слова:** композит, волокнистый наполнитель, пористая структура

The degree of impregnation of the fabric and the density of the composite materials were used to evaluate the porous structure of the composite materials obtained by impregnating a nonwoven needle-punched fabric made of polypropylene fibers with a linear density of 0.66 with an aqueous dispersion of polyurethane. The dependence of the degree of impregnation on the gap between the squeezing rollers and the concentration of polyurethane in the aqueous dispersion was investigated. When the concentration of polyurethane in the aqueous dispersion is below 15 wt.% and the gap between the squeezing rollers is less than 1 mm, the degree of impregnation does not exceed 0.3. To assess the change in the volume of fibrous filler during the heat treatment of the impregnated fabric, the relationship between the degree of impregnation and the density of composite materials was used. It was found that at the density of the fabric 117 kg/m<sup>3</sup> the heat treatment of the impregnated fabric occurs without changing the volume of the fiber filler. When using a fabric with a density of 80 kg/m<sup>3</sup> for reinforcing composite materials, the volume of fibrous filler.

**Keywords:** composite, fibrous filler, porous structure

DOI: 10.35164/0554-2901-2024-06-19-22

Пористые волокнистые материалы с достаточными для практического применения механическими свойствами имеют важное практическое значение. Возможный способ получения таких материалов заключается в пропитке нетканых иглопробивных полотен [1–3] водными дисперсиями полиуретанов [4–6]. Композиционные материалы, в которых полотна являются армирующими волокнистыми наполнителями, имеют повышенные по сравнению с полотнами механические свойства [7, 8] и используются для фильтрации газов и жидкостей [9], тепло- [10–12] и звукоизоляции [10, 13–15], а также в дорожном [16, 17] и гидротехническом [18] строительстве.

Пористость композиционных материалов зависит от пористости полотен [19, 20], использованных для пропитки, содержания связующего [21], которое определяется степенью пропитки полотен, и изменения объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанных полотен [21]. Регулирование технологических режимов пропитки имеет важное значение при производстве высокопористых композиционных материалов, пористость которых должна незначительно отличаться от пористости полотен.

Поэтому целью работы является исследование влияния концентрации полиуретана в водной дисперсии и зазора между отжимными валами на степень пропитки полотна и влияние степени пропитки на плотность композиционных материалов.

В качестве объектов исследования использовали нетканое иглопробивное полотно, изготовленное из полипропиленовых волокон с линейной плотностью 0,66 текс (ООО «Технолайн», РФ, Самарская область, г. Отрадный). Волокнистый холст получали механическим способом формирования, холст упрочняли при плотности оснóвного прокалывания 180 см<sup>-2</sup>.

Поверхностная плотность полотна составляла 0,32 ± 0,04 кг/м<sup>2</sup>, толщина – 2,8 ± 0,2 мм и объемная плотность – 117 ± 8 кг/м<sup>3</sup> (коэффициент пористости 0,92)

Для пропитки использовали водную дисперсию анионного стабилизированного алифатического полиуретана марки IMPRANIL DL 1380 (КНР) с концентрацией полиуретана 38 масс.%. Для получения дисперсий с различным содержанием полиуретана исходную дисперсию разбавляли дистиллированной водой. Образцы полотна размером 10×10 см погружали в емкость, заполненную дисперсией с концентрацией полиуретана 14,0, 7,0 3,5 и 1,5% масс, и прокатывали валиком в течение 3–5 мин при комнатной температуре. После извлечения из емкости образцы выдерживали на металлической сетке до полного стекания избыточной дисперсии и прокатывали между отжимными валами с зазором, равным 1/4 толщины полотна. Термообработку пропитанного полотна выполняли при температуре 90°C до постоянной массы образцов.

Степень пропитки ( $C_M$ , отн. ед.) полотна рассчитывали из уравнения:

$$C_M = \frac{m_1 - m}{m}, \quad (1)$$

где  $m_1$  и  $m$  – масса образцов после и до пропитки соответственно, кг.

Массу образцов полотна и композиционных материалов определяли при использовании электронных весов с точностью взвешивания  $\pm 0,002$  г, толщину – по ГОСТ 12023–93 с применением толщиномера по ГОСТ 11358–70 с ценой деления 0,01 мм. Относительная ошибка определения массы образцов композиционных материалов не превышала  $\pm 4\%$ . Определение длины и ширины образцов выполняли с точностью измерения  $\pm 0,5$  мм. Толщину образцов, которая, в основном, влияла на точность определения плотности композиционных материалов, измеряли в шести равномерно удаленных друг от друга точках на поверхности образцов размером  $10 \times 10$  см. Максимальная относительная ошибка определения толщины и, соответственно, плотности композиционных материалов составляла  $\pm 9\%$ .

Пористость композиционных материалов оценивали степенью пропитки полотна и соотношением между плотностью композиционных материалов и степенью пропитки. Зависимости степени пропитки от зазора между отжимными валами ( $d$ , мм) композиционных материалов, полученных при использовании водных дисперсий с заданными концентрациями полиуретана, представлены на рис. 1.

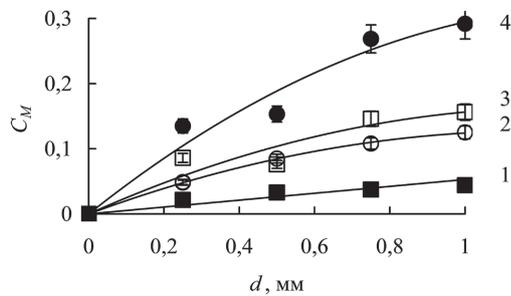


Рис. 1. Зависимости степени пропитки полотна от зазора между отжимными валами композиционных материалов, полученных при использовании для пропитки водной дисперсии с концентрацией полиуретана 1,5 (1), 3,0 (2), 7 (3) и 14 (4) масс.%.

Для материалов, полученных при использовании водных дисперсий с концентрацией полиуретана 3,0, 7,0 и 14,0 масс.%, зависимости  $C_M$  от  $d$  описываются уравнениями общего вида

$$C_M = A \times d - B \times d^2, \quad (2)$$

где  $A$ ,  $\text{мм}^{-1}$ , и  $B$ ,  $\text{мм}^{-2}$  – коэффициенты размерности

Для композиционных материалов, полученных при использовании водной дисперсии с  $C_M = 1,5$  масс.%, зависимость  $C_M$  от  $d$  описывается уравнением:

$$C_M = A \times d, \quad (3)$$

где  $A = 0,053 \text{ мм}^{-1}$ .

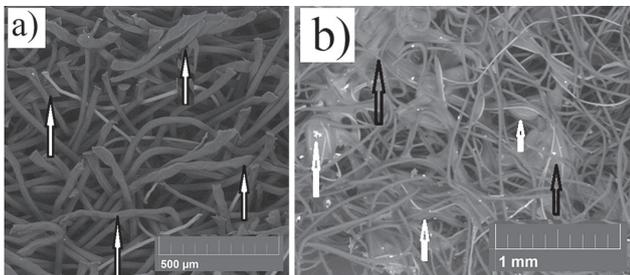


Рис. 2. Микрофотографии бокового среза полотна (а) и поверхности композиционного материала, полученного при степени пропитки 0,3 (б) (на рис. 2а стрелками показаны участки с повышенной плотностью упаковки волокон, в которых волокна находятся в контакте друг с другом, на рис. 2б белыми стрелками показаны участки локального распределения агломератов из частиц полиуретана на участках полотна с повышенной плотностью упаковки волокон; черными стрелками показаны стяжки из частиц полиуретана, соединяющие волокна, расположенные на относительно большом расстоянии друг от друга).

Нетканые иглопробивные полотна имеют неравномерную плотность упаковки волокон (рис. 2а), что теоретически определяет зависимость степени пропитки от двух факторов, влияющих на

способность полотен удерживать дисперсии полиуретана различного состава.

Первым фактором, определяющим степень пропитки полотен, является сорбция дисперсий полиуретана на поверхности волокон с формированием оболочки из частиц полиуретана. Второй фактор заключается в заполнении дисперсией пространства между волокнами, что приводит к образованию из частиц полиуретана стяжек, соединяющих волокна между собой. Кроме того, при равном зазоре между отжимными валами степень пропитки полотна зависит от концентрации полиуретана в водной дисперсии (рис. 1), увеличение которой приводит к возрастанию вязкости дисперсии и, соответственно, к повышенной способности дисперсии удерживаться между волокнами.

Из микрофотографий композиционных материалов, полученных при использовании водной дисперсии с минимальной концентрацией полиуретана, равной 1,5 масс.%, и, соответственно, с низкой способностью удерживаться в пространстве между волокнами, следует, что оболочки из частиц полиуретана на поверхности волокон не образуются, а в местах контакта волокон из частиц полиуретана формируются отдельные агломераты (рис. 3). Формирование на поверхности волокон оболочки из частиц полиуретана ограничено низкой смачиваемостью водной дисперсией полипропиленовых волокон.

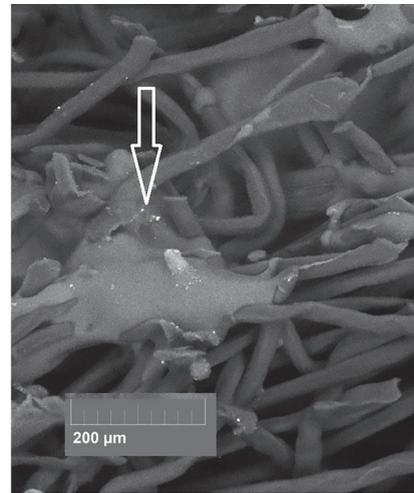


Рис. 3. Микрофотография поперечного среза образца композиционного материала, полученного при использовании дисперсии с концентрацией полиуретана 1,5 масс.%. (стрелкой показан агломерат из частиц полиуретана в местах контакта волокон).

Можно заключить, что дисперсии с различным содержанием полиуретана, в основном, удерживаются в пространстве между волокнами. При небольшой концентрации полиуретана накопление дисперсий происходит в местах непосредственного контакта волокон, которые формируются в процессе прокалывания. Число контактов между волокнами ограничено, что отражается относительно небольшой степенью пропитки, и формирование в местах контакта волокон определяет формирование агломератов (рис. 2б). Увеличение концентрации полиуретана увеличивает вязкость дисперсий, которая может удерживаться между волокнами, которые находятся на значительном расстоянии друг от друга, что приводит к формированию между волокнами стяжек (рис. 2б).

В таком случае из уравнений 2 и 3 следует, что коэффициент  $A$  отражает количество водной дисперсии, которая удерживается в местах контакта волокон, а коэффициент  $B$  – количество дисперсии, которая удерживается между волокнами. Следствием уравнений 2 и 3 является то, что при возрастании зазора между отжимными валами увеличивается степень пропитки. Однако при уменьшении зазора между отжимными валами и значительном сжатии полотна между валами число контактов между волокнами должно возрастать, что должно увеличивать число агломератов.

При небольшом зазоре между отжимными валами происходит сдвиг волокон, и число контактов между волокнами, которые формируются в процессе прокалывания, снижается. Новые контакты между волокнами, которые образуются при сжатии полотна в зазоре между валами, разрушаются при выходе полотна из зоны действия валов. Только при относительно большом зазоре контакты

между волокнами сохраняются, что отражается увеличением степени пропитки полотна.

Сложнее определить физический смысл коэффициента  $B$ , увеличение которого, как следует из уравнения 2, приводит к снижению степени пропитки. Условие  $C_M > 0$  выполняется при  $A_d > B_d^2$ , в таком случае при постоянном  $A$  коэффициент  $B$  ограничивает влияние увеличения зазора между отжимными валами на степень пропитки полотна.

Недостаток уравнений 2 и 3 заключается в их использовании для прогнозирования степени пропитки композиционных материалов, полученных при нанесении водных дисперсий с заданной концентрацией полиуретана, и использованных в работе зазоров между отжимными валами. Для прогнозирования степени пропитки при использовании водной дисперсии с различным содержанием полиуретана и при варьировании зазора между отжимными валами установили зависимость коэффициентов  $A$  и  $B$  от концентрации полиуретана в водной дисперсии ( $C$ , масс.%). Для материалов, полученных пропиткой водной дисперсией с  $C = 1,5$  масс.%, приняли, что  $B = 0$ .

Зависимости  $A$  от  $C$  и  $B$  от  $C$  представлены на рис. 4.

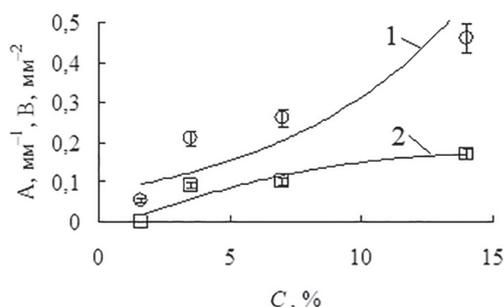


Рис. 4. Зависимости коэффициентов  $A$  (1) и  $B$  (2) от концентрации полиуретана в водной дисперсии.

Зависимости  $A$  от  $C$  и  $B$  от  $C$  описываются уравнениями 4 и 5 соответственно:

$$A = 0,075e^{0,14C} \quad (4)$$

$$B = 0,026C - 0,0009C^2 - 0,022 \quad (5)$$

При замене в уравнении 2 коэффициентов  $A$  и  $B$  на уравнения, которые описывают зависимости  $A$  от  $C$  (уравнение 4) и  $B$  от  $C$  (уравнение 5), получено уравнение для прогнозирования степени пропитки полотна от концентрации полиуретана в водной дисперсии и зазора между отжимными валами:

$$C_M = (0,075e^{0,14C}) \times d - (0,026C - 0,0009C^2 - 0,022) \times d^2 \quad (6)$$

Для прогнозирования степени пропитки при использовании дисперсии с концентрацией полиуретана 1,5 масс.%, уравнение 6 принимает вид следующего уравнения:

$$C_M = (0,075e^{0,14C}) \times d \quad (7)$$

При решении уравнения (6) приняли, что  $C$  изменяется от 0,1 до 30 масс.%, максимальное значение концентрации полиуретана в дисперсии, принятое при решении, приближается к концентрации полиуретана в неразбавленной дисперсии, равной 38 масс.%, и  $d$  изменяется от 0 до 2 мм. Также ограничили максимальную степень пропитки полотна условием  $C_M < 6$ , при котором, как показали отдельно выполненные расчеты, частицы полиуретана полностью заполняют объем пор. При этом приняли, что объем волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанного полотна не изменяется.

Графическое решение уравнения 6 представлено на рис. 5.

Из зависимости степени пропитки от концентрации полиуретана в водной дисперсии и зазора между отжимными валами следует, что при  $C < 15$  масс.% степень пропитки в незначительной степени зависит от зазора между отжимными валами, что наиболее выражено при  $d < 1$  мм. При различных комбинациях показателей зазора между валами меньше 1 мм и концентрацией полиуретана в водной дисперсии ниже 15 масс.% получены композиционные материалы с  $C_M < 0,3$  (рис. 5).

При  $C = 15$  масс.% и возрастании зазора между отжимными валами с 1 до 2 мм, максимальное значение которого практически приближается к толщине полотна, степень пропитки композиционных материалов увеличилась с 0,3 до 0,5. При использовании для

пропитки водной дисперсии с концентрацией полиуретана более 15 масс.% и зазоре между отжимными валами более 1 мм степень пропитки полотна существенно возрастает и быстро достигает предельной величины, равной 6. При таких режимах степень пропитки начинает зависеть от зазора между отжимными валами (рис. 5).

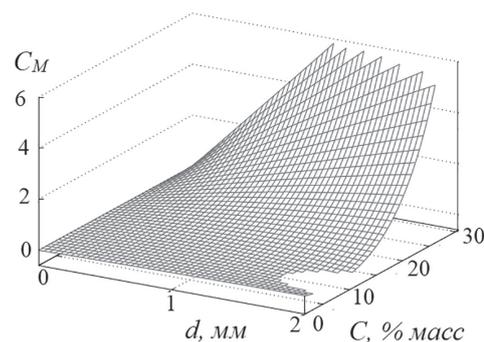


Рис. 5. Зависимость степени пропитки от зазора между отжимными валами и концентрации полиуретана в водной дисперсии.

Также из рис. 5 следует, что если зазор между отжимными валами изменяется от 1,8 до 2,0 мм и концентрация полиуретана в водной дисперсии менее 15% масс, то  $C_M < 0$ , что не имеет физического смысла. Другими словами, результаты расчета свидетельствуют о том, что при данных режимах пропитки водная дисперсия полностью вытекает из полотна при прокатке в отжимных валах.

В процессе термообработки пропитанных полотен объем волокнистой матрицы может увеличиваться, уменьшаться или оставаться без изменения с соответствующим влиянием на пористую структуру композиционных материалов. Различные соотношения между объемом волокнистой матрицы и содержанием связующего при различной степени пропитки полотен влияют на плотность композиционного материала ( $p$ , кг/м<sup>3</sup>).

Для определения изменения объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанного полотна использовали предложенный авторами статьи [22] подход, который заключается в установлении зависимости объемной плотности композиционных материалов ( $p$ , кг/м<sup>3</sup>) от степени пропитки (рис. 6). На рис. 6 представлена зависимость  $p$  от  $C_M$  композиционных материалов, полученных при проведении дополнительных исследований пропиткой полотна из полипропиленовых волокон с линейной плотностью 0,66 текс, но плотностью 80 кг/м<sup>3</sup>, по сравнению с плотностью использованного в работе полотна, равной 117 кг/м<sup>3</sup>.

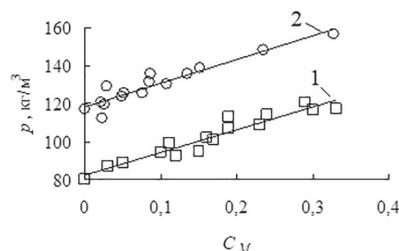


Рис. 6. Зависимости плотности композиционных материалов от степени пропитки полотен с плотностью 80 (1) и 117 (2) кг/м<sup>3</sup>.

При  $0 < C_M < 0,35$  зависимости  $p$  от  $C_M$  композиционных материалов, армированных полотнами с различной плотностью, имеют линейный вид (рис. 6) и описываются уравнениями (минимальный коэффициент корреляции 0,94) общего вида (8). Кроме того, соотношение между  $p$  и  $C_M$  композиционных материалов, полученных пропиткой полотна с плотностью 117 кг/м<sup>3</sup> при заданных концентрациях полиуретана в дисперсии и зазоре между отжимными валами от 0,25 до 1,0 мм, описываются общей зависимостью (рис. 6, зависимость 2):

$$p = p_0 + k_p \times C_M \quad (8)$$

где  $p_0$  – плотность полотна, использованного для пропитки, кг/м<sup>3</sup>;  $k_p$  – коэффициент размерности, кг/м<sup>3</sup>.

Для анализа изменения объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанных полотен предложено следующее преобразование уравнения (8):

$$p = p_0 \left( 1 + \frac{k_p}{p_0} C_M \right) \quad (9)$$

Безразмерный коэффициент  $k/p_{\Pi}$  используется для оценки изменения объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанного полотна. Постоянный объем волокнистого наполнителя отражается условием  $k/p_{\Pi} = 1$ . Уменьшение объема волокнистого наполнителя соответствует условию  $k/p_{\Pi} > 1$ , а возрастание объема –  $k/p_{\Pi} < 1$ .

Для композиционных материалов, армированных полотном с плотностью  $117 \text{ кг/м}^3$ ,  $k/p_{\Pi} = 1,03$ , для композиционных материалов, армированных полотном с плотностью  $80 \text{ кг/м}^3$ ,  $k/p_{\Pi} = 1,39$ . Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе термообработки при температуре  $90^\circ\text{C}$  пропитанного полотна с повышенной плотностью объем волокнистой матрицы не изменяется, а при уменьшении плотности – возрастает.

#### Выводы:

– пористость композиционных материалов, армированных полотном из полипропиленовых волокон с линейной плотностью  $0,66 \text{ текс}$  и объемной плотностью  $117 \text{ кг/м}^3$ , прямо пропорциональна степени пропитки, а термообработка пропитанного полотна происходит без изменения объема волокнистого наполнителя;

– высокопористые композиционные материалы получены при концентрации полиуретана в дисперсии ниже  $15 \text{ масс.}\%$  и зазоре между отжимными валами меньше  $1 \text{ мм}$ ;

– изменение объема волокнистого наполнителя в процессе термообработки пропитанного полотна зависит от плотности полотна.

#### Литература

1. Cheema M.S., Anand S.C., Shah T.H. Development of Nonwoven Fabrics for Clothing Applications // J. Textile Sci. Eng. 2018. V 8, №6. P. 32–45.
2. Rittenhouse J., Wijeratne R., Order E. B., Dillard D.A., Moore R.B., R. De Vita. Effect of areal density and fiber orientation on the deformation of thermomechanical bonds in a nonwoven fabric // Polym. Engineering Sci. 2019. V. 59, №2. P. 311–322.
3. Wijeratne R. S., De Vita R., Rittenhouse J. A., Orler E.B. Biaxial properties of individual bonds in thermomechanically bonded nonwoven fabrics // Textile Res. J. 2019. V. 89, №5. P. 698–710.
4. Arshad N., Zia K. M., Hussain M. T., Arshad M. M., Zuber M. Synthesis and Characterization of Aqueous Curcumin Polyurethane Dispersions Using Isophorone Diisocyanate: Efficiency Evaluation as Textile Finishes // Fibers Polym. 2022. V. 23, №7. P. 1894–1905.
5. Oprea S., Petulance V.O. Water-Dispersible Polyurethanes Obtained by the Controlled Alternation of the Segments of Poly(propylene glycol), Poly(ethylene glycol) and Urethane // J. Polym. Environment. 2023. V. 31, №9. P. 1–14.
6. Li X., Wang Y., Wen Y. F., Zhou X. P. Modifying Poly(propylene carbonate) with Furan-based Non-Isocyanate Polyurethanes // J. Polym. Sci. (English Edition) 2023. V. 41, №7. P. 1069–1077.
7. Dedov A.V., Nazarov V.G. Mechanical Properties of Composite Materials Based on Latex-Impregnated Needle-Punched Nonwoven Fabrics from Fibers of Different Nature // Inorganic Mater.: Appl. Res. 2018. V. 9, №1. P. 47–51.
8. Nazarov, V.G., Dedov, A.V., Bokova, E.S. Compressibility of the composite material with fiber filler and nanodimensional polyurethane matrix for road and hydro engineering construction // Nanotechnologies in Construction, 2023. V. 15, №1. P. 53–58.
9. Rashid E., Raihan R. K., Hasanuzzaman H. Challenges of textile waste composite products and its prospects of recycling // J. Mater. Cycles Waste Management. 2023. V. 25, №3. P. 1267–1287.
10. Moretti E., Belloni E., Agosti F. Innovative mineral fiber insulation panels for buildings: thermal and acoustic characterization // Appl. Energy. 2016. V. 69, №1. P. 421–432.
11. Sam-Brew S., Smith G.D. Flax shive and hemp hurd residues as alternative raw material for particleboard production // Bio Res. 2017. V. 12, №3. P. 5715–5735.
12. Islam S., Bhat G. A model for predicting thermal conductivity of porous composite materials // Heat Mass Transfer. 2023. V. 59, №11. P. 2023–2034.
13. Hariprasad K., Ravichandran K., Jayaseelan V., Muthuramalingam T. Acoustic and mechanical characterisation of polypropylene composites reinforced by natural fibres for automotive applications // J. Mater. Res. Technol. 2020. V. 9, №6. P. 14029–14035.
14. Cerny P., Babenko M., P. Bartos P. Complex Study of the Composite Building Material Based on Flax Straw Organic Waste: Hygrothermal and Physicochemical Properties // Waste Biomass Valorization. 2024. V. 15, №4. P. 2231–2247.
15. Puchka O.V., Bessmertnyi V.S., Platov Yu.T., Zdorenko N.M., Platova R.A. Highly Efficient Sound-Absorbing Glass Composites // Inorganic Mater.: Appl. Res. 2023. V. 14, №4. P. 1013–1019.
16. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Stoyanov O.V. Geopolymers. Vest. Kazansk. Tekhnol. Univ. // Tekhnol. Mater. 2014. V. 17, №23. P. 189–196.
17. Yatsenko E.A., Ryabova A.V., Vil'bitskaya N.A., Kurdashov V.M., Trofimov S.V., Golovko D.A. Eco-Geopolymers Based on CHP Plant Ash-Slag Waste: Promising Materials for Road Construction in the Arctic Zone // Glass Ceramics. 2022. V. 78, №23. P. 490–493.
18. Clark E., Bleszynski M., Gordon M. High-pressure compacted recycled polymeric composite waste materials for marine applications // SN Appl. Sci. 2022. V. 4, №2. P. 36–43.
19. Dedov A.V., Babushkin S.V., Platonov A.V., Kondratov A.P., Nazarov V.G. Sorptive properties of nonwoven materials // Fibre Chem. 2001. V. 33, №5. P. 56–58.
20. Dedov, A.V., Babushkin, S.V., Platonov, A.V., Nazarov, V.G. Heterocapillarity of non-woven canvases at various stages of their production // Fibre Chem. 2001. V.33, №1. P.33–36
21. Dedov, A.V., Nazarov, V.G. Mechanical Properties of Composite Materials Based on Latex-Impregnated Needle-Punched Nonwoven Fabrics from Fibers of Different Nature // Inorganic Mater.: Appl. Res. 2018. V. 9, №1. P. 47–51.
22. Leshchenko T.A., Chernousova N.V., Dedov A.V. Air permeability of composite fiber material // Inorganic Mater.: Appl. Res. 2021. V. 12, №5. P. 1214–1218.