

Раздел 2. Строительство

УДК 691.31

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ИЗВЕСТИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСНО-ГИПСОВОГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СТРУКТУРЫ

Горохов Т.И.

ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический университет,
392000, г.Тамбов, ул.Советская, д.106/5, помещение 2,
E-mail: gorohowt@yandex.ru

Аннотация. Представлено исследование по повышению прочностных показателей древесно-гипсового композитного материала путем добавления в его состав извести. Представлены данные по определению прочностных показателей, таких как прочность на сжатие и на растяжение при поперечном изгибе, выполненных по ГОСТ 23789-2018 "Вяжущие гипсовые. Методы испытаний" для шести образцов-балочек размером 4×4×16 см из древесно-гипсового материала с использованием извести в качестве модифицирующей добавки и без нее. Выполнен анализ полученных результатов, определено оптимального количество вносимой извести. Установлено, что максимальное значение прочности на растяжение при изгибе составляет 1,93 МПа, что соответствует процентному содержанию вносимой извести в количестве 17,5 %. Кроме того, представлены основные реакции, происходящие при затворении гипсового вяжущего при добавлении извести в водной среде, приводящие к изменению структуры материала. Для оценки изменения структуры материала методом ртутной порометрии, основанным на измерении давления для вдавливания несмачивающей ртутной жидкости в поры образца, был выполнен анализ результатов исследования исходного состава и состава с добавлением извести. Получены основные данные по диаметру пор и их количественному распределению в структуре материала. Представлены и проанализированы основные данные значений пористости материала. Сделан вывод о влиянии на прочностные показатели древесно-гипсового композитного материала и изменение его структуры при использовании извести в качестве модифицирующей добавки. Определена область применения полученных результатов для изделий из древесно-гипсового композитного материала с добавлением извести в качестве модифицирующей добавки.

Предмет исследования: повышение прочностных показателей древесно-гипсового композитного материала, обладающего более низкими прочностными характеристиками по сравнению с изделиями из гипса.

Материалы и методы: выполнены испытания по определению прочности образцов как из древесно-гипсового материала с добавления в состав извести и без нее. Для оценки изменения структуры образцов были проведены исследования методом ртутной порометрии.

Результаты: в образцах древесно-гипсового материала при добавлении извести уменьшается диапазон пор и средние диаметры, а объем введенной ртути становится меньше, что свидетельствует об увеличении его плотности. Уменьшение модального диаметра пор на три порядка, а также уменьшение медианного диаметра почти в 2 раза формирует мелкопористую структуру древесно-гипсового композитного материала при добавлении извести в качестве модифицирующей добавки.

Выводы: полученные результаты могут быть использованы для создания декоративных изделий для отделки помещений, к которым предъявляются более высокие требования по прочностным показателям.

Ключевые слова: гипс, древесно-гипсовый композит, известь, отделочный материал, ртутная порометрия.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение тенденции рынка строительных материалов в пользу доступных и экологичных материалов делает актуальным повышение эксплуатационных показателей разработанного древесно-гипсового композитного материала [1]. В виду особенности применяемых компонентов (гипсовое вяжущее и древесные опилки), данный материал по сравнению с изделиями из обычного гипса (без добавления древесных опилок), при более лучших показателях по теплопроводности и доступности, уступает им по прочности [2...4].

Для повышения механических характеристик древесно-гипсового материала возможно использование ряда модифицирующих добавок. Одной из таких добавок может выступать известь, используемая в виде гашеной извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Процесс добавления извести в гипс представляет собой смешивание извести с гипсовым вяжущим в определенных пропорциях. При этом после затворения полученной смеси водой протекает реакция, приводящая к образованию карбоната кальция (CaCO_3) и гидратированного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Добавление извести в гипс в качестве добавки значительно повышает его прочностные характеристики. Целью данного исследования является оценка возможности использования извести в качестве модифицирующей добавки для повышения прочностных характеристик древесно-гипсового композитного материала. Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ изменения прочности древесно-гипсового материала от количества добавляемой извести и провести исследование изменения его структуры.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Особенности поведения гипсовых вяжущих с различными свойствами, а также особенности их производства описаны в работах П. Будникова, А. Волженского, И. Передерия, П. Боженова, А. Ферронской, В. Коровякова, А. Бурьянова, В. Белова и других. Значительные исследования в расширении области применения гипсового вяжущего сделаны на базе научных школ МГСУ (МИСИ), ВНИИСТРОМа, КазГАСУ и др.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние модифицирующей добавки и ее процентного содержания на прочностные характеристики готового образца являются главными факторами, определяющими дальнейшие возможности использования древесно-гипсового композитного материала. Прочность древесно-гипсового композита на растяжение при изгибе и на сжатие определялась согласно ГОСТ 23789-2018 для шести образцов-балочек размером 4×4×16 см. В

процессе экспериментов фиксировалась максимальная разрушающая нагрузка, выдерживаемая материалом. Полученные данные усреднялись. Предел прочности на сжатие вычислялся как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

Добавление извести для повышения прочностных характеристик образцов древесно-гипсового композитного материала на основе гипсового вяжущего и древесных опилок происходило в определенном проценте от массы гипса, используемого для изготовления образцов требуемых размеров для дальнейшего испытания на прочность. Масса данной добавки заменяла массу гипса в диапазоне от 10 до 27,5 % с шагом 2,5 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Данные, полученные в ходе проведения испытаний для определения значения прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие, систематизировались и были отображены в виде графика на рисунках 1 и 2 соответственно.

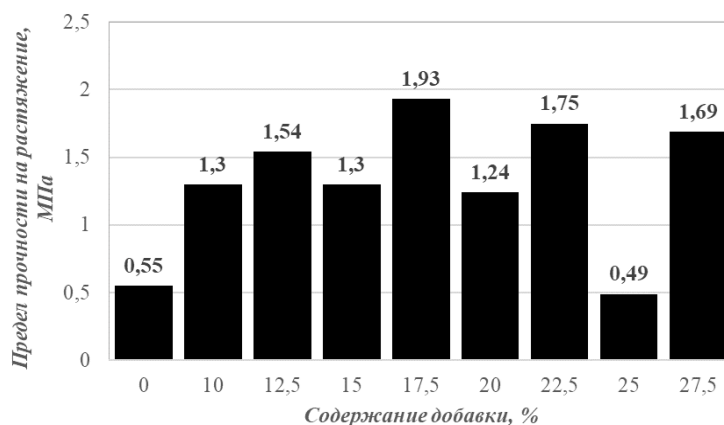


Рис. 1. Влияние процентного содержания извести в древесно-гипсовом композитном материале на прочность на растяжении при изгибе

Fig. 1. Influence of lime percentage in wood-gypsum composite material on flexural tensile strength

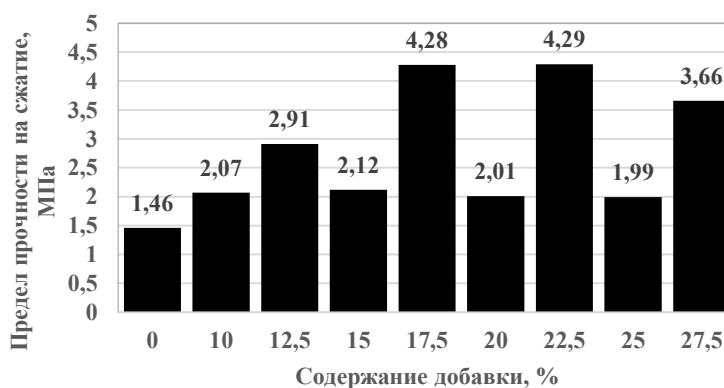


Рис. 2. Влияние процентного содержания извести в древесно-гипсовом композитном материале на прочность на сжатие

Fig. 2. Influence of lime percentage in wood-gypsum composite material on compressive strength

Анализируя график влияние процентного содержания извести в древесно-гипсовом композитном материале на прочность на растяжении при изгибе (рисунок 1), можно сделать вывод, что наблюдается некая параболическая зависимость. Причем ветви параболы опущены вниз. Максимальное значение прочности на растяжение при изгибе соответствует процентному содержанию извести в 17,5 % (1,93 МПа). Таким образом увеличение прочности по сравнению с образцами без добавки составляет 3,5 раза. Также можно заметить, что при добавлении 25 % извести происходит резкое снижение прочностных показателей. Такой результат, по-видимому, является грубой ошибкой и не должен приниматься в расчет.

При анализе графика влияния процентного содержания извести в древесно-гипсовом композитном материале на прочность при сжатии (рисунок 2), видно отсутствие закономерности изменения прочности на сжатие от содержания добавки. Однако стоит отметить, что наибольшее значение предела прочности на сжатие равно 4,28 МПа, получаемое также при добавлении 17,5 % извести.

Положительное действие извести объясняется тем, что она каталитически влияет на ангидрит, который обычно содержится в строительном гипсе.

При затворении гипсового вяжущего с добавлением извести в водной среде происходит ряд ключевых химических реакций, которые ведут к образованию новых фаз. Основные процессы включают следующие химические реакции:

– *гидратация гипса*: гипсовое вяжущее (полугидрат сульфата кальция, $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) гидратируется, образуя дигидрат сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O} + 1.5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

– *диссоциация извести*: известь (гидроксид кальция, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) диссоциирует в воде, образуя ионы кальция (Ca^{2+}) и гидроксильные ионы (OH^-): $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$

– *реакции между ионами*: ионы кальция (Ca^{2+}) из извести взаимодействуют с сульфатными ионами (SO_4^{2-}) из гипса, образуя дополнительный дигидрат сульфата кальция: $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

– *образование кальцита*: гидроксильные ионы (OH^-) могут взаимодействовать с углекислым газом (CO_2) из воздуха, образуя карбонат кальция (CaCO_3), известный как кальцит: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Образующиеся при гидратации и взаимодействии ионов мелкие кристаллы

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и CaCO_3 могут заполнять микропоры и пустоты в структуре гипсового вяжущего, что должно привести к уменьшению общей пористости материала и к улучшению сцепления между частицами гипса и гидратов кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Это в свою очередь должно способствовать формированию более прочной и однородной матрицы. Более плотная структура обладает лучшими механическими свойствами и большей устойчивостью к нагрузкам.

Разброс прочностных характеристик при добавлении извести в древесно-гипсовую смесь может быть связан с неравномерностью распределения добавки. Неравномерное распределение извести в матрице гипсового вяжущего приводит к локальным изменениям структуры материала. В местах с избытком извести могут формироваться области с избыточной концентрацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что снижает однородность материала и приводит к возникновению внутренних напряжений, снижающих прочность в отдельных участках, что обусловлено образованием концентраторов напряжений с локальными слабыми зонами.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о том, что оптимальным процентом извести для изготовления древесно-гипсового композитного материала с повышенными прочностными характеристиками является 17,5 %.

Для изучения особенностей изменения прочностных показателей при добавлении извести и подтверждения сделанных выводов была проведена оценка изменения структуры материала методом ртутной порометрии [5, 6]. Данный способ основан на методе измерения объема пор несмачивающей жидкостью, проникающей под заданным давлением. Величина давления, а также скорость его изменения характеризуют распределение пор в материале [7].

Исследование порометрии проводилось при температуре 20° С, угол наклона ртути составлял 140° при ее значении поверхностного натяжения 480 эрг/см². В результате были определены следующие характеристики: минимальный и максимальный диаметры пор; средний, модальный и медианный диаметры пор; удельная площадь поверхности пор; общая пористость, межчастичная и внутричастичная пористость.

Результаты распределения пор исходного образца древесно-гипсового материала и образца с добавлением извести представлены на рисунке 3, а и б соответственно.

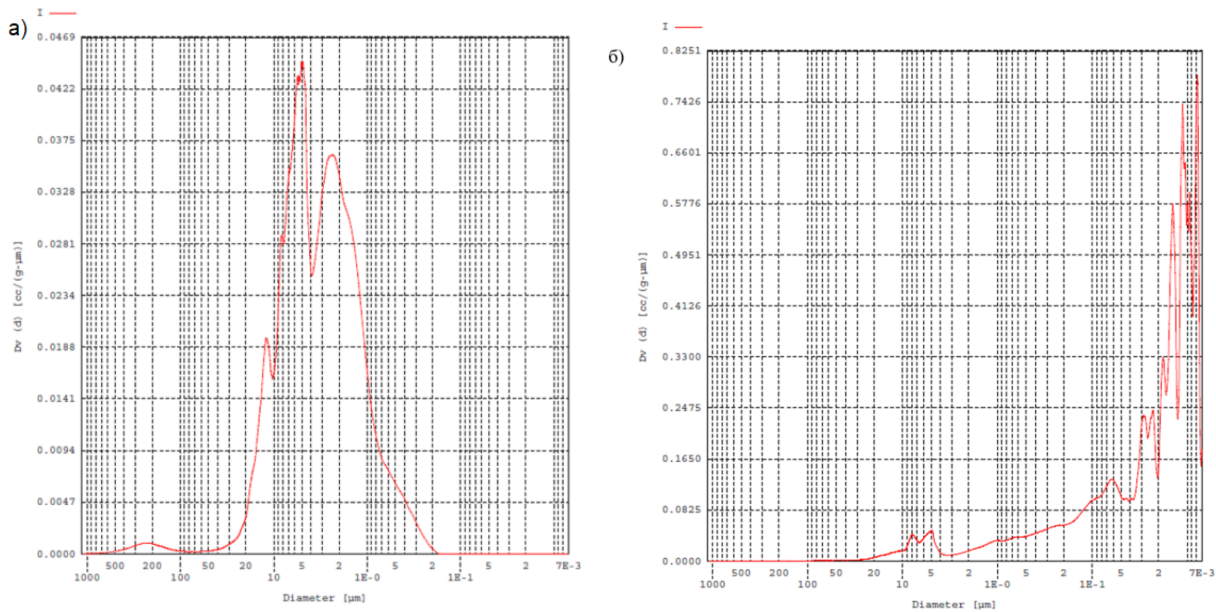


Рис.3. Распределение пор и соотношение их размеров древесно-гипсового материала:

а) образцы без добавления извести; б) образцы с добавлением извести

Fig. 3. The distribution of pores and the ratio of their sizes of wood-gypsum material:

a) samples without the addition of lime; б) samples with the addition of lime

Гистограмма распределения пор представлена на рисунке 4.

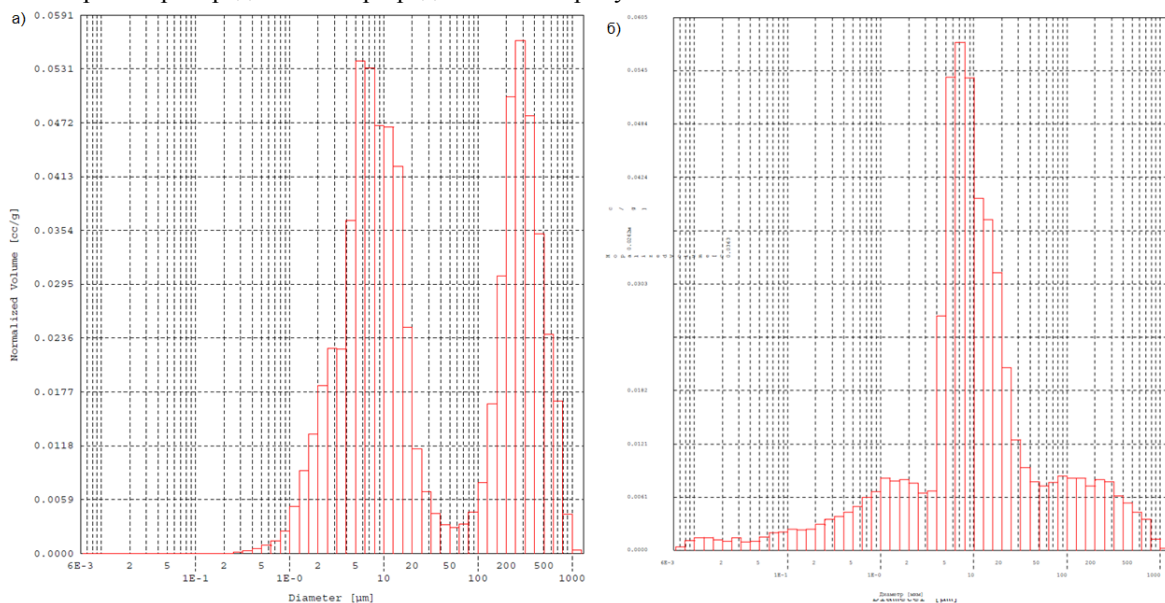


Рис.4. Гистограмма распределения пор древесно-гипсового материала:

а) образцы без добавления извести; б) образцы с добавлением извести

Fig. 4. Histogram of the distribution of pores of wood-gypsum material:

a) samples without the addition of lime; б) samples with the addition of lime

Численные значения порометрического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры образцов
Table 1. The main parameters of the samples

Параметр	Исходный образец	Образец с добавлением извести
Основные параметры образцов		
Масса образца, г	0,5316	0,6800
Объем образца, см ³	1,0000	1,0000
Температура измерений, °С	20	20
Диаметры пор		
Максимальный диаметр пор, мкм	1077,8	1068,83
Минимальный диаметр пор, мкм	0,00710	0,007085
Средний диаметр, мкм·10 ⁻¹	~8,045	~6,068
Модальный диаметр, мкм	~4,89	~0,00782
Медианный диаметр, мкм	~14,58	~8,78
Объемная пористость		
Общий объем введенной ртути, см ³ /г	0,7264	0,5350
Общая пористость, %	~38,62	~36,38
Межчастичная пористость, %	~33,22	~29,56
Внутричастичная пористость, %	~5,39	~6,82
Удельная площадь поверхности, м ² /г	0,3612	3,5267

На основании экспериментальных данных таблицы 1 можно сделать вывод о том, что в образцах древесно-гипсового материала при добавлении извести уменьшается диапазон пор и средние диаметр, а объем введенной ртути становится меньше, что свидетельствует об уплотнении структуры материала, а, следовательно, и об увеличении его плотности. Изменение модального диаметра пор в сторону уменьшения на три порядка, а также уменьшение медианного диаметра почти в 2 раза позволяет говорить о формировании мелкопористой структуры древесно-гипсового композитного материала при добавлении в него извести в качестве модифицирующей добавки.

ВЫВОДЫ

Таким образом, максимальное значение прочности (1,93 МПа) на растяжение при изгибе соответствует процентному содержанию извести в 17,5 %. Образующиеся при гидратации и взаимодействии ионов мелкие кристаллы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и CaCO_3 заполняют микропоры и пустоты в структуре гипсового вяжущего, что подтверждено результатами ртутной порометрии. Полученные результаты могут быть использованы для создания изделий из древесно-гипсового композитного материала, к которым предъявляются более высокие требования по прочностным показателям.

В работе применялось оборудование ЦКП НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Строительные отделочные материалы с фотокаталитическими свойствами для деградации химических поллютантов воздуха / В.М. Бондаренко, Б.А. Бондарев, А.О. Корнеева, А.В. Бондаренко // Современные проблемы строительной науки. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 7 – 11.
2. Патент № 2788603 С1 Российская Федерация, МПК C04B 28/14, C04B 18/26. Древесно-гипсовый композит : № 2022108904 : заявл. 04.04.2022 : опубл. 23.01.2023 / А. В. Ерофеев, Т. И. Горохов, Н. С. Ковалев, С. И. Горохов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".
3. Патент № 2795289 С1 Российская Федерация, МПК C04B 28/14, C04B 18/26. Древесно-гипсовый композит : № : 2022119149 : заявл. 13.07.2022 : опубл. 02.05.2023 / А. В. Ерофеев, Т. И. Горохов, А. А. Морковин, Н. В. Леонов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".
4. Ковалев Н.С. Исследование эксплуатационных свойств древесно-гипсового композита оптимального состава // Н.С. Ковалев, Т.И. Горохов, А.В. Ерофеев, С.И. Горохов // СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА. - 2022. -6 (275) -с 67-72
5. Gorokhov, T.I. Implementation of the mathematical planning of an experiment method in selecting optimal composite material based on gypsum binder filled with wood filings / T.I. Gorokhov, A.V. Erofeev, B.A. Bondarev, A.O. Korneeva // Russian

Journal of Building Construction and Architecture. – 2023. – № 2 (58). – P. 34 – 40.

6. Стородубцева, Т.Н. Анализ влияния изменения температуры на древесный полимерный композиционный материал / Т.Н. Стородубцева, Б.А. Бондарев, А.О. Корнеева // Современные машины, оборудование и IT-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж. – 2021. – С. 334 – 339.

7. Проектирование состава строительных композитов с учетом термодинамической совместимости высокодисперсных систем горных пород / А. С. Тутыгин, А. М. Айзенштадт, В. С. Лесовик [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 74-75.

REFERENCES

1. Bondarenko, V.M. Building finishing materials with photocatalytic properties for the degradation of chemical pollutants in the air / V.M. Bondarenko, B.A. Bondarev, A.O. Korneeva, A.V. Bondarenko // Modern problems of construction science. Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference. - 2017. – pp. 7-11.

2. Patent No. 2788603 C1 Russian Federation, IPC C04B 28/14, C04B 18/26. Wood-gypsum composite : No. 2022108904 : application 04.04.2022 : published 23.01.2023 / A.V. Erofeev, T. I. Gorokhov, N. S. Kovalev, S. I. Gorokhov ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University".

3. Patent No. 2795289 C1 Russian Federation, IPC C04B 28/14, C04B 18/26. Wood-gypsum composite : No. : 2022119149 : application 07/13/2022 : published 05/02/2023 / A.V. Erofeev, T. I. Gorokhov, A. A. Morkovin, N. V. Leonov ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State Technical University".

4. Kovalev N.S. Investigation of the operational properties of wood-gypsum composite of optimal composition // N.S. Kovalev, T.I. Gorokhov, A.V. Erofeev, S.I. Gorokhov // BUILDING MATERIALS, EQUIPMENT, TECHNOLOGIES OF THE XXI CENTURY. - 2022. -6 (275) -from 67-72

5. Gorokhov, T.I. Implementation of the mathematical planning of an experiment method in selecting optimal composite material based on gypsum binder filled with wood filings / T.I. Gorokhov, A.V. Erofeev, B.A. Bondarev, A.O. Korneeva // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2023. – № 2 (58). – P. 34 – 40.

6. Storodubtseva, T.N. Analysis of the effect of temperature changes on wood polymer composite material / T.N. Storodubtseva, B.A. Bondarev, A.O. Korneeva // Modern machines, equipment and IT solutions of the timber industry: theory and practice. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. – Voronezh. 2021. pp. 334-339.

7. Designing the composition of building composites taking into account the thermodynamic compatibility of highly dispersed rock systems / A. S. Tutugin, A.M. Aisenstadt, V. S. Lesovik [et al.] // Building Materials. - 2013. – No. 3. – pp. 74-75.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF THE USE OF LIME AS AN ADDITIVE ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF WOOD-GYPSUM MATERIAL THROUGH THE PRISM OF AN ANALYSIS OF CHANGES IN ITS STRUCTURE

Gorokhov T.I.

Tambov State Technical University,
392000, Tambov, Sovetskaya str., 106/5, room 2, gorohowt@yandex.ru

Abstract. A study on increasing the strength parameters of wood-gypsum composite material by adding lime to its composition is presented. Data on the determination of strength indicators, such as compressive and tensile strength in transverse bending, made in accordance with GOST 23789-2018 "Gypsum binders. Test methods" for six 4×4×16 cm beam samples made of wood-gypsum material using lime as a modifying additive and without it. The analysis of the obtained results was performed, and the optimal amount of lime applied was determined. It was found that the maximum value of flexural tensile strength is 1.93 MPa, which corresponds to the percentage of lime applied in the amount of 17.5%. In addition, the main reactions occurring during the sealing of gypsum binder when lime is added in an aqueous medium, leading to a change in the structure of the material, are presented. To assess the change in the structure of the material by mercury porometry, based on measuring the pressure for pressing non-wetting mercury liquid into the pores of the sample, the analysis of the results of the study of the initial composition and the composition with the addition of lime was performed. Basic data on the diameter of pores and their quantitative distribution in the structure of the material have been obtained. The basic data of the porosity values of the material are presented and analyzed. The conclusion is made about the effect on the strength parameters of the wood-gypsum composite material and the change in its structure when lime is used as a modifying additive. The scope of application of the obtained results for products made of wood-gypsum composite material with the addition of lime as a modifying additive is determined.

Materials and methods: Tests were performed to determine the strength of samples made only of wood-gypsum material, as well as samples of wood-gypsum material with the addition of lime. To assess the changes in the structure of the samples, studies using mercury porometry were carried out.

Results: in the samples of wood-plaster material, the pore range and average diameters decrease when lime is added, and the volume of introduced mercury becomes smaller, indicating an increase in its density. The decrease in the modal pore diameter by three orders of magnitude, as well as the decrease in the median diameter by almost two times, forms a fine-pored structure in the wood-plaster composite material when lime is added as a modifying additive.

Conclusions: The results obtained can be used to create decorative products for interior decoration, which are subject to higher requirements in terms of strength.

Key words: gypsum, wood-gypsum composite, lime, finishing material, mercury porometry.