

ТОРФОСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО**Н.А. Митина, В.А. Лотов, М.А. Ковалева, Н.О. Копаница**

Наталья Александровна Митина *, Василий Агафонович Лотов

Кафедра технологии силикатов и наноматериалов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, Томск, Российская Федерация, 634050

E-mail: mitinana@tpu.ru *, valotov@tpu.ru

Маргарита Алексеевна Ковалева, Наталья Олеговна Копаница

Кафедра строительных материалов и технологий, Томский государственный архитектурно-строительный университет, пл. Соляная, 2, Томск, Российская Федерация, 634003

E-mail: xomoch28@mail.ru, kopanitsa@mail.ru

На основе нового гидравлического магнезиального вяжущего предложены и исследованы составы торфосодержащего композиционного материала. Гидравлическое магнезиальное вяжущее представляет собой вяжущую композицию гидратационно-реакционного твердения, которое состоит из активного каустического магнезиального порошка и жидкости затворения. В качестве жидкости затворения использовали водный раствор бикарбоната магния $Mg(HCO_3)_2$ с концентрацией 13 г/л. При твердении образуются не растворимые в воде продукты – гидроксид магния $Mg(OH)_2$ и гидрокарбонаты магния с общей формулой $MgCO_3 \cdot zMg(OH)_2 \cdot nH_2O$, что дает возможность твердеть и эксплуатироваться изделиям на основе такого вяжущего как на воздухе, так и в воде. Использование торфа как наполнителя разрабатываемых композиций позволит получать легковесные водостойкие материалы и изделия теплоизоляционного назначения. Показано, что торфомагнезиальные композиции всех составов имеют коэффициент гидратационного твердения больше 1,0, что свидетельствует об интенсификации процессов гидратации и твердения в водных условиях по сравнению с воздушными и большими прочностными показателями. С помощью рентгенофазового анализа установлен фазовый состав торфа и продуктов твердения торфомагнезиальных композиций. Термический анализ показал наличие гидрокарбонатов магния в образцах композиций, которые находятся в виде слабозакристаллизованных новообразований. Исследования с помощью электронной микроскопии подтверждают наличие частиц гидрокарбонатов магния типа дипингита $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ и гидромагнезита $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ в виде тонких пластинок с вертикальным направлением кристаллизации. Повышенная водостойкость композиций на основе гидравлического магнезиального вяжущего с неводостойким наполнителем торфом обусловлена минерализацией частиц торфа благодаря их пропитыванию раствором бикарбоната магния и образованию в рыхлой пористой структуре торфа водонерастворимых гидрокарбонатов магния.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, торфосодержащая композиция, водостойкость, гидрокарбонаты магния

PEAT-CONTAINING COMPOSITION CONTAINING MAGNESIA BINDER

N.A. Mitina, V.A. Lotov, M.A. Kovaleva, N.O. Kopanitsa

Natalia A. Mitina *, Vasiliy A. Lotov

Department of Silicates Technology and Nanomaterials, National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin ave., 30, Tomsk, 634050, Russia

E-mail: mitinana@tpu.ru *, valotov@tpu.ru

Margarita A. Kovaleva, Natali O. Kopanitsa

Department Building Materials and Technologies, Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya sq., 2, Tomsk, 634003, Russia

E-mail: xomoch28@mail.ru, kopanitsa@mail.ru

Based on the new hydraulic magnesia binder, the compositions of the peat-containing composite material have been proposed and investigated. Hydraulic magnesia binder is an astringent composition of hydration-reaction hardening, which consists of an active caustic magnesia powder and a mixing fluid. As the fluid mixing an aqueous solution of magnesium bicarbonate $Mg(HCO_3)_2$ with a concentration of 13 g/l was used. Hardening forms water-insoluble products - magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$ and magnesium bicarbonates of general formula $MgCO_3 \cdot zMg(OH)_2 \cdot nH_2O$, which makes it possible to harden and used products based on such a binder as in the air, and in water. The use of peat as a filler of the developed compositions will make it possible to obtain lightweight waterproof materials and products of heat-insulating purpose. It has been shown that the peat-and-magnesian compositions of all compositions have a hydration hardening coefficient of more than 1.0, which indicates intensification of the hydration and hardening processes in water conditions in comparison with air and large strength parameters. Using XRD the phase composition of peat products and peat- magnesium hardening compositions was established. Thermal analysis showed the presence of magnesium hydrogen-carbonates in samples of compositions that are in the form of slightly crystallized neoplasms. Investigations by electron microscopy confirmed the presence of hydrocarbons such as magnesium particles dipingite $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ and hydromagnesite $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ in the form of thin plates with the vertical direction of crystallization. Increased water resistance of compositions based on hydraulic magnesia binder with non-water-resistant filler peat is due to mineralization of peat particles due to their impregnation with a solution of magnesium bicarbonate and the formation of water-soluble magnesium hydrogen carbonates in the loose porous structure of peat.

Keywords: magnesian binding materials, peat-containing composition, water resistance, magnesium hydrogen carbonates

Для цитирования:

Митина Н.А., Лотов В.А., Ковалева М.А., Копаница Н.О. Торфосодержащие композиции на основе магнезиального вяжущего. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 8. С. 81–88

For citation:

Mitina N.A., Lotov V.A., Kovaleva M.A., Kopanitsa N.O. Peat-containing composition containing magnesia binder. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 8. P. 81–88

ВВЕДЕНИЕ

На территории всего Западно-Сибирского региона наиболее распространенным органоминеральным сырьем является торф. Западно-Сибирская равнина представляет собой крупнейший торфяной регион мира, исчисляемый площадью торфяных месторождений более 30 млн. га с запасами торфа почти 108 млрд. тонн [1].

Торф – отложения органического происхождения, состоящие из остатков болотных растений (лиственных и хвойных деревьев, кустарников, трав, мхов), подвергшихся неполному разложению при недостаточном доступе воздуха. С физико-химической точки зрения его можно отнести к классу многокомпонентных полидисперсных полукolloидно-высокомолекулярных систем [2], сложность которых определяется наличием в со-

ставе торфа органической, минеральной и водной составляющих.

Уникальность структуры и состава торфяных систем является основой широкого спектра их применения в различных отраслях. Так, пористая структура и наличие функциональных групп –ОН, –СООН определяют сорбционные свойства торфа и использование его в качестве эффективного сорбента [3] и ионообменного материала [2]. Торф применяется в качестве восстановителя в составе торфорудных материалов при переработке железной руды металлизацией в процессе прямого восстановления, здесь количество торфа в смеси может достигать до 20% [4].

Одной из наиболее широких сфер применения торфяных систем – это строительные материалы различного назначения, от легковесных теплоизоляционных ограждающих материалов до конструктивных. В технологиях строительных материалов торф может выступать как наполнитель [5-7], как модифицирующая добавка [8] и как основной исходный материал, в роли связующего и заполнителя [1, 9, 10]. Разработана структурная модель торфа как сырья для получения вяжущего, наполнителя или модифицирующих добавок в производстве строительных материалов, которая объединяет данные о составе, структуре, свойствах торфа и особенностях воздействия на него для направленного использования в технологиях получения строительных материалов разного функционального назначения [9].

Особая уникальность торфа состоит в его низкой плотности, высокой пористости и низкой теплопроводности. При использовании данного органоминерального природного материала в качестве заполнителя в композиционных материалах в качестве вяжущего компонента наиболее подходит магнезиальный цемент – каустический магнезит. При этом магнезиальное вяжущее не подвергается отрицательному воздействию легкогидролизующих веществ, образующихся при приготовлении композитов на основе органических наполнителей [11, 12].

Магнезиальное вяжущее по сравнению с широко применяемым портландцементом выгодно отличается ресурсо- и энергоэффективностью производства. Однако использование строительных материалов на основе магнезиального вяжущего ограничивается их низкой водостойкостью, что связано с использованием в качестве жидкостей затворения солей магния и получением в результате водорастворимых кристаллогидратов, гидрооксидов и гидрооксисульфатов магния [5, 13, 14].

В связи с этим, целью настоящих исследований является получение торфомагнезиальных композиций с повышенной водостойкостью при использовании принципиально новой жидкости затворения – водного раствора бикарбоната магния, позволяющей твердеть вяжущей композиции как на воздухе, так и в воде, благодаря образованию водонерастворимых соединений – гидрокарбонатов магния [15-17].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве вяжущего компонента композиции использовали каустический магнезит ООО «Сибирские порошки» (г. Иркутск) с содержанием активного MgO – 75-88 %.

Водный раствор бикарбоната магния получали в результате искусственной карбонизации разбавленной суспензии MgO (каустического магнезита) при давлении диоксида углерода 9 атм, которая осуществлялась в автоклаве при температуре 25 °С. Концентрация полученного раствора бикарбоната магния составляла 13 г/л [15].

В качестве органоминерального компонента композиции использовали сапропелевый торф месторождений Томской области. Сапропель – это органоминеральные осадки, образовавшиеся в восстановительных условиях на дне пресноводных озер за счет остатков планктона, бентоса и минеральных компонентов [18]. Зольность сапропелевого торфа составляет 38,4% [19]. Фазовый состав минеральной части сапропеля представлен в основном кварцем SiO₂ и альбитом Na[AlSi₃O₈] (рис. 1). Сапропель высушивался при 95-100 °С и измельчался до максимального размера частиц 2 мм. В результате измельчения получали полифракционный состав с размером частиц 0-2 мм с содержанием тонкой фракции (менее 0,13 мм) до 40 %.

Подготовленный сапропелевый торф в количестве от 10 до 50 % смешивали в сухом состоянии с каустическим магнезитом. Далее смесь затворялась раствором бикарбоната магния до теста нормальной густоты. Состав композиций представлен в таблице. Из полученной смеси формовались образцы, которые после суточного твердения на воздухе извлекались из форм. Часть образцов помещалась в воду, часть образцов в эксикатор над водой, а часть образцов продолжала твердеть на воздухе. По истечении 28 сут твердения образцы высушивались до постоянной массы при температуре 60-65 °С и испытывались на прочность при сжатии. Результаты испытаний представлены в таблице.

Для оценки процесса гидратации магниезального вяжущего и твердения торфосодержащей композиции использовали коэффициент гидратационного твердения K_v , который определяется из отношения предела прочности при сжатии образцов, твердевших в воде или в воздушно-влажных условиях к прочности при сжатии образцов, твердевших на воздухе (1). Данная величина показывает характер (уровень) повышения или понижения прочности при твердении в водных условиях или условиях с повышенной влажностью.

$$K_v = \frac{R_{СЖ}^{вода}}{R_{СЖ}^{возд}} \quad (1)$$

где $R_{СЖ}^{возд}$, $R_{СЖ}^{вода}$ – предел прочности при сжатии соответственно в воздушной среде, в воде.

Для установления фазового состава исходных материалов и продуктов твердения проводили рентгенофазовый и термический анализы. Рентгенограммы были получены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 с использованием излучения Си-анода, шаг сканирования 4°/мин, время измерения интенсивности в точках сканирования 1 с, напряжение на трубке 35 кВ, сила тока 25 мА.

Термоанализ (ТГ/ДСК/ДТА) проводили с помощью термоанализатора для синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter в инертной среде аргона до температуры 1000 °С. Инертная среда аргона позволяет проследить фазовые переходы при нагревании без наложения процессов горения органических составляющих торфа.

Электронные микрофотографии образцов торфомагнезиальных композиций сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа с термоэмиссионным катодом и сфокусированным ионным пучком Quanta 200 3D фирмы EDAX (Нидерланды) в режиме низкого вакуума.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование торфосодержащих магниезальных композиций, составы которых представлены в таблице, показывает, что твердение их в воздушно-влажных условиях (100% влажность) и в водных условиях способствует получению более высоких прочностных показателей по сравнению с твердением на воздухе.

Коэффициенты гидратационного твердения торфосодержащих магниезальных композиций имеют значения более 1, что свидетельствует о возможности твердения данных композиций как на воздухе, так и при повышенной влажности и в воде.

Повышение прочности при твердении в воде и, следовательно, высокий коэффициент гидратационного твердения торфомагнезиальных композиций становятся возможными при использовании принципиально новой жидкости затворения магниезального вяжущего – водного раствора бикарбоната магния.

Таблица

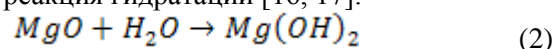
Состав и свойства торфосодержащих композиций
Table. Composition and properties of peat-containing compositions

Торф, %	Среда тверд.*	Прочность при сжатии, МПа	Плотность, г/см ³	K _v
0	1	18,23	1,48	1,12
	2	23,46	1,61	
	3	19,75	1,66	
10	1	8,53	1,27	1,04
	2	9,09	1,33	
	3	8,85	1,35	
20	1	5,85	1,19	1,03
	2	5,79	1,25	
	3	5,99	1,31	
30	1	2,68	1,12	1,34
	2	3,53	1,13	
	3	3,58	1,25	
40	1	0,96	0,98	1,93
	2	0,94	0,97	
	3	1,85	1,13	
50	1	0,26	0,92	1,93
	2	0,24	0,87	
	3	0,47	0,97	

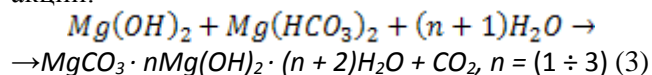
Примечание: * среда твердения композиций: 1 – воздух; 2 – воздушно-влажные условия; 3 – вода

Note: * medium hardening compositions: 1 – air; 2 – air-moist conditions; 3 – water

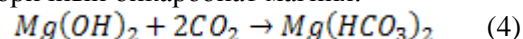
При взаимодействии каустического магнезита с водным раствором $Mg(HCO_3)_2$ сначала протекает реакция гидратации [16, 17]:



Образовавшийся гидроксид магния далее взаимодействует с бикарбонатом магния по реакции:



с образованием гидрата гидрокарбоната магния и диоксида углерода, который вступая во взаимодействие с избытком гидроксида магния, образует вторичный бикарбонат магния:



Вторичный бикарбонат магния вновь взаимодействует с гидроксидом магния по реакции (4) с образованием новой порции гидрата гидрокарбоната магния, который вместе с гидроксидом

дом магния образует первичные продукты гидратации магниального цемента, обеспечивающие его твердение в процессе перекристаллизации первичных коллоидных продуктов в кристаллическое состояние. Таким образом, в результате последовательного и циклического протекания реакций (2, 3, 4) в цементном камне образуются две основные кристаллические фазы – гидроксид магния и гидрат гидрокарбоната магния. Образующиеся вещества в цементном камне нерастворимы в воде, что определяет повышенный коэффициент гидратационного твердения.

Наличие нерастворимых фаз в составе торфомагниальных композиций, твердевших в разных условиях, подтверждается рентгенофазовым анализом и термоанализом. Результаты представлены на рис. 1 и 2.

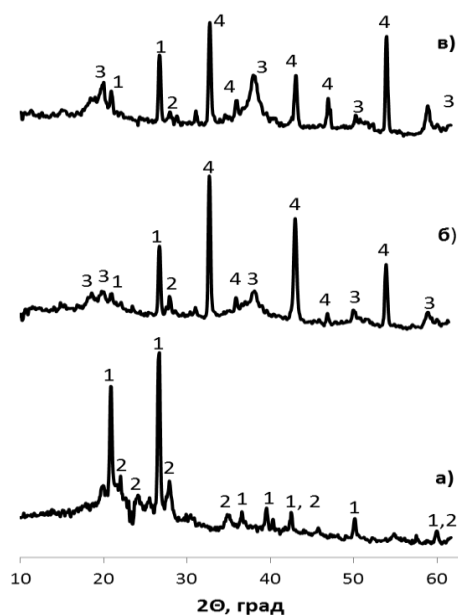


Рис. 1. Рентгенограммы торфа (а) и образцов торфомагниальных композиций, твердевших на воздухе (б) и в воде (в): 1 – кварц; 2 – альбит; 3 – $Mg(OH)_2$; 4 – $Mg(CO)_3$; 5 – MgO
 Fig. 1. X-ray diffraction patterns of peat (a) and samples of peat-and-magnesian compositions hardened in air (б) and in water (в): 1 - quartz; 2 – albite; 3 – $Mg(OH)_2$; 4 – $Mg(CO)_3$; 5 – MgO

Рентгенограммы свидетельствуют, что в качестве одной из основных кристаллических фаз торфосодержащих магниальных композиций является магнезит $MgCO_3$, который образуется также в результате взаимодействия раствора бикарбоната магния с каустическим магнезитом и при перекристаллизации гидрокарбонатов магния в процессе сушки.

Наличие гидрокарбонатов магния и гидрата гидрокарбоната магния на рентгенограммах

не фиксируется, так как данные соединения в затвердевшем композите находится в слабоакристаллизованном виде. В отличие от рентгенограмм на термограммах образцов как чистого магниального вяжущего (рис. 2, а), так и торфомагниальных композиций (рис. 2 б), характерные эндотермические эффекты свидетельствуют о наличии гидрокарбонатов магния различного состава. Повышение температуры нагрева в воздушной среде торфомагниальных образцов приводит к значительному выделению тепла в диапазоне температур 250-300 °С и 420-550 °С – экзотермический процесс горения органической составляющей торфяного наполнителя. Для установления фазового состава продуктов твердения магниальной матрицы термоанализ проводили в инертной среде аргона, не поддерживающего термическое разложение торфа.

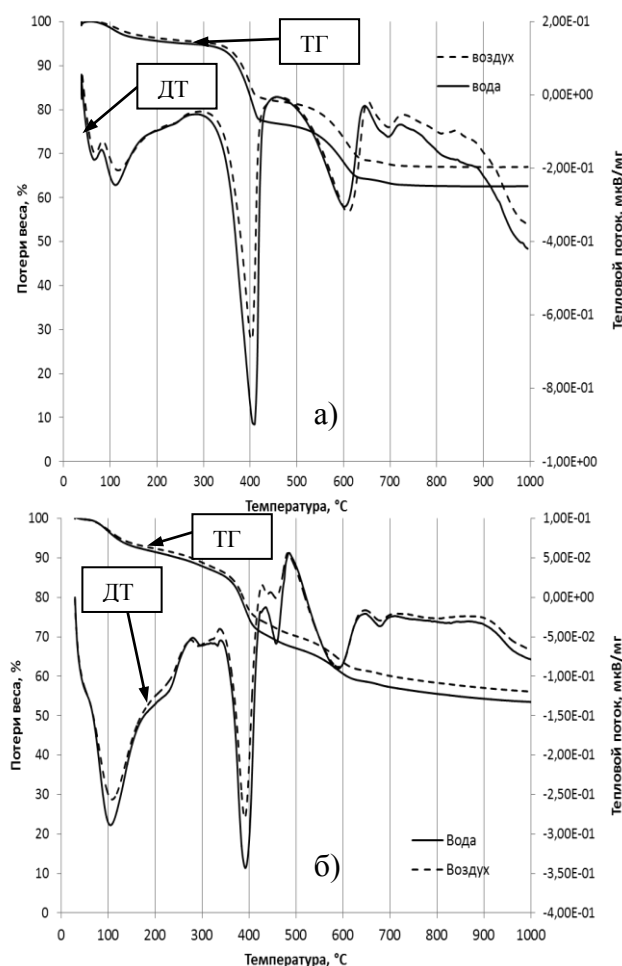


Рис. 2. Термограммы магниальной композиции без торфа (а) и с содержанием 40 % торфа после твердения на воздухе и в воде
 Fig. 2. Thermograms of the magnesia composition without peat (а) and 40% peat after hardening in air and water

На термограммах наблюдается большое количество различных эндотермических эффектов, связанных с разложением продуктов твердения магниальной матрицы.

Этими фазами являются гидромагнезит $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$, дипингит $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ и несквегонит $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ [20]. Так, при температурах 220-320 °С происходит потеря кристаллизационной воды из гидрокарбонатов магния. За этим следует процесс отщепления гидроксильной группы при 380-410 °С. Эндотермический эффект, смешанный с экзотермическим, который фиксируется на рентгенограмме торфомагнезиальных композиций при температуре 430-500 °С, свидетельствует о кристаллизации частиц карбоната магния $MgCO_3$ с последующим их разложением до MgO . В диапазоне температур 580-600 °С начинается декарбонизация. Эндотермические эффекты при температурах 685-700 °С соответствуют процессам окончательного разложения карбоната магния [21-23].

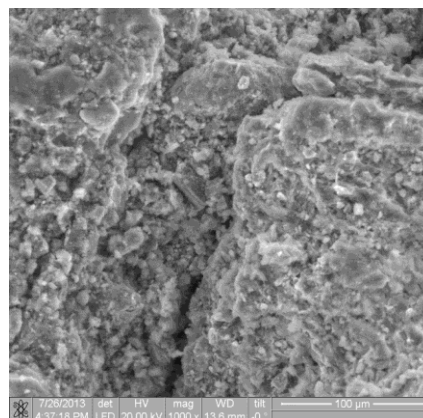
Отличие процессов твердения в воздушной и водной среде заключается в образовании большего количества продуктов при выдержке образцов в воде. Объясняется это благоприятным действием водной среды, способствующей более полной гидратации оксида магния и образованию гидроксида магния, который взаимодействует с бикарбонат-ионами с постоянным накоплением и перекристаллизацией гидрокарбонатов магния, о чем свидетельствует различие в кривых на термограммах.

На электронных микрофотографиях образцов торфомагнезиальных композиций (рис. 3) при большом увеличении фиксируется наличие гидрокарбонатов магния типа дипингита $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$ и гидромагнезита $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ [20] в виде тонких пластинок с вертикальным направлением кристаллизации, словно поставленных на ребро.

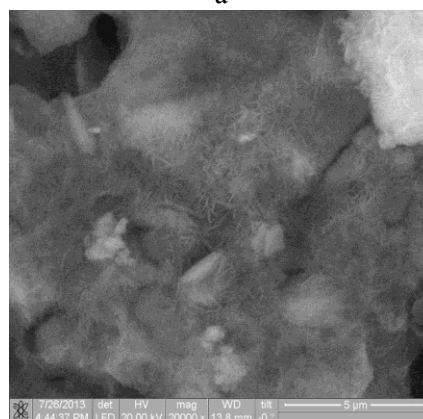
При рассмотрении структуры торфомагнезиальной композиции (рис. 3 а) видно, что частица торфа покрыта слоем гидратных новообразований вяжущего, которые проникают в слоистую структуру заполнителя. Это способствует упрочнению и гидрофобизации частиц торфа, связанных с их минерализацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Калашникова М.А.** Использование теплоизоляционных материалов на основе низинных торфов Томской области в ограждающих конструкциях. *Вестн. ТГАСУ*. 2008. № 1. С. 137-141.
2. **Мисников О.С., Пухова О.В., Черткова Е.Ю.** Физико-химические основы торфяного производства. Тверь:



а



б

Рис. 3. Микроструктура торфомагнезиальной композиции, после твердения в воде: а) увеличение $\times 1000$; б) увеличение $\times 20000$

Fig. 3. Microstructure of the peat- magnesia composition after hardening in water: a) magnification is 1000; б) magnification is 20000

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных экспериментов получены торфомагнезиальные композиции повышенной водостойкости, способные твердеть как на воздухе, так и в воде. Повышенная водостойкость и прочность образцов композиций создается за счет водонерастворимых новообразований в результате твердения магниальной матрицы с торфяным наполнителем при затворении композиции водным раствором бикарбоната магния.

REFERENCES

1. **Kalashnikova M.A.** Use of heat-insulating materials on the basis of low-lying peat of the Tomsk Region in enclosing structures. *Vestn. TGASU*. 2008. N 1. P. 137-141 (in Russian).
2. **Misnikov O.S., Pukhova O.V., Chertkova E.Yu.** Physics and chemistry of peat. Tver': Tver. gos. Tekhn. Un-t. 2015. 168 p. (in Russian).

- Твер. гос. техн. ун-т. 2015. 168 с.
3. Тимофеев А.Е., Мисников О.С. Методы модификации сформованных сорбционных материалов на основе торфа. *Горн. информ.-аналит. бюллетень*. 2009. № 5. С. 112-120.
 4. Архипов В.С., Маслов С.Г., Долгов А.В., Каревская А.О. Свойства торфорудных материалов на основе Бакчарской руды и торфа Васюганского месторождения. *Изв. Томск. политехн. ун-та*. 2009. Т. 314. № 1. С. 44-47.
 5. Шабалина Е.А., Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Фишер Х.-Б. Торфомагнезиальная композиция. *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 32-34.
 6. Syed Mofachirul Islam, Roslan Hashim, Saiful Islam A.B.M., Ryan Kurnia. Effect of Peat on Physicomechanical Properties of Cemented Brick. *Sci. World J.* 2014, Article ID 328516. P. 1-8. DOI: 10.1155/2014/328516.
 7. Irham Hameeda Mohamad Idris, Nur Zulaikha Yusof. Development of low thermal mass cement-sand block utilizing peat soil and effective microorganism. *Case Studies in Construction Materials*. 2018. V. 8. P. 8–15. DOI: 10.1016/j.cscm.2017.11.004.
 8. Кудяков А.И., Копаница Н.О., Прищепа И.А., Шангин С.Н. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой. *Вестн. ТГАСУ*. 2013. № 1(38). С. 172-177.
 9. Копаница Н.О. Структурное моделирование свойств торфа как сырья для производства строительных материалов. *Вестн. ТГАСУ*. 2010. № 2. С. 162-168.
 10. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Калашникова М.А. Рациональное использование торфа в строительных технологиях. *Строительные материалы*. 2007. № 12. С. 32-35.
 11. Plekhanova T.A., Keriene J., Gailius A., Yakovlev G.I. Structural, physical and mechanical properties of modified wood–magnesia composite. *Construction and Building Materials*. 2007. V. 21. P. 1833–1838. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.06.029.
 12. Lei Wang, Season S. Chen, Daniel C.W. Tsang, Chi-Sun Poon, Kaimin Shih. Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. *J. Cleaner Production*. 2016. V. 137. P. 861-870. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.180.
 13. Góchez R., Vreeland T., Wambaugh J., Kitchens C.L. Conversion of magnesium oxychloride to chlorartinite and resulting increased water resistance. *Materials Letters*. 2017. V. 207. P. 1–3. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.06.124.
 14. Pingping He, Chi Sun Poon, Daniel C.W. Effect of pulverized fuel ash and CO₂ curing on the water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC). *Cement and Concrete Research*. 2017. V. 97. P. 115–122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.03.005.
 15. Лотов В.А., Митина Н.А. Получение водостойкого магнезиального вяжущего. *Техника и технология силикатов*. 2010. Т. 17. № 3. С. 19-22.
 16. Митина Н.А., Лотов В.А. Формирование структуры цементного камня при гидратации и твердении гидрокربонатного магнезиального вяжущего. *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 68-73.
 17. Mitina N.A., Revva I.B., Ditts A.A., Simonov D.V. Waterproof Magnesia Binder for Composite Materials Key. *Engineering Materials*. 2016. V. 712. P. 182-187.
 18. Инишева Л.И., Гостищева М.С., Порохина Е.В., Сергеева М.А., Федько И.В. Большой практикум: Физико-химия биология и комплексная переработка торфа. 3. Timofeev A.E., Misnikov O.S. Methods of modification of formed sorption materials based on peat. *Gorn. Inform.-Analit. Byull.* 2009. N 5. P. 112-120 (in Russian).
 4. Arkhipov V.S., Maslov S.G., Dolgov A.V., Karevskaya A.O. Properties of peat-based materials based on Bakchar ore and peat of the Vasyuganskoye deposit. *Izv. Tomsk. Politekh. Un-ta*. 2009. V. 314. N 1. P. 44-47 (in Russian).
 5. Shabalina E.A., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Fisher H.-B. Peat magnesium composition. *Stroitel'nye materialy*. 2012. N 3. P. 32-34 (in Russian).
 6. Syed Mofachirul Islam, Roslan Hashim, Saiful Islam A.B.M., Ryan Kurnia. Effect of Peat on Physicomechanical Properties of Cemented Brick. *Sci. World J.* 2014, Article ID 328516. P. 1-8. DOI: 10.1155/2014/328516.
 7. Irham Hameeda Mohamad Idris, Nur Zulaikha Yusof. Development of low thermal mass cement-sand block utilizing peat soil and effective microorganism. *Case Studies in Construction Materials*. 2018. V. 8. P. 8–15. DOI: 10.1016/j.cscm.2017.11.004.
 8. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Prishchepa I.A., Shangin S.N. Structural and heat-insulating foam concrete with thermo-modified peat additive. *Vestn. TGASU*. 2013. N 1(38). P. 172-177 (in Russian).
 9. Kopanitsa N.O. Structural modeling of peat properties as raw material for production of building materials. *Vestn. TGASU*. 2010. N 2. P. 162-168 (in Russian).
 10. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Kalashnikova M.A. Rational use of peat in building technologies. *Stroitel'nye materialy*. 2007. N 12. P. 32-35 (in Russian).
 11. Plekhanova T.A., Keriene J., Gailius A., Yakovlev G.I. Structural, physical and mechanical properties of modified wood–magnesia composite. *Construction and Building Materials*. 2007. V. 21. P. 1833–1838. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.06.029.
 12. Lei Wang, Season S. Chen, Daniel C.W. Tsang, Chi-Sun Poon, Kaimin Shih. Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. *J. Cleaner Production*. 2016. V. 137. P. 861-870. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.180.
 13. Góchez R., Vreeland T., Wambaugh J., Kitchens C.L. Conversion of magnesium oxychloride to chlorartinite and resulting increased water resistance. *Materials Letters*. 2017. V. 207. P. 1–3. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.06.124.
 14. Pingping He, Chi Sun Poon, Daniel C.W. Effect of pulverized fuel ash and CO₂ curing on the water resistance of magnesium oxychloride cement (MOC). *Cement and Concrete Research*. 2017. V. 97. P. 115–122. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.03.005.
 15. Lotov V.A., Mitina N.A. Preparation of waterproof magnesia binder. *Tekhnika i Tekhnologiya Silikatov*. 2010. V. 17. N 3. P. 19-22 (in Russian).
 16. Mitina N.A., Lotov V.A. Formation of the structure of cement stone during hydration and hardening of hydrocarbonate magnesia binder. *Stroitel'nye materialy*. 2017. V. 8. P. 68-73 (in Russian).
 17. Mitina N.A., Revva I.B., Ditts A.A., Simonov D.V. Waterproof Magnesia Binder for Composite Materials Key. *Engineering Materials*. 2016. V. 712. P. 182-187.
 18. Inisheva L.I., Gostishcheva M.S., Porohina E.V., Sergeeva M.A., Fed'ko I.V. Large workshop: Physical chemistry and biology of complex processing of peat. Tomsk: Izd-vo Tomsk. Gos. Ped. Un-ta, 2007. 149 p. (in Russian).

- Томск: Изд-во Томск. гос. пед. ун-та. 2007. 149 с.
19. **Табакеев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С.** Перспективность низкосортных топлив томской области для теплотехнологического использования. *Изв. Томск. политехн. ун-та.* 2013. Т. 323. № 4. С. 41-46.
 20. **Unluer C., Al-Tabbaa A.** Characterization of light and heavy hydrated magnesium carbonates using thermal analysis. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2014. 115. P. 595–607. DOI: 10.1007/s10973-013-3300-3.
 21. **Hongrui Ren, Zhen Chen, Yulong Wu, Mingde Yang, Jin Chen, Husheng Hu, Ji Liu.** Thermal characterization and kinetic analysis of nesquehonite, hydromagnesite, and brucite, using TG–DTG and DSC techniques. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2014. V. 115. P. 1949–1960. DOI: 10.1007/s10973-013-3372-0.
 22. **Jauffret G., Morrison F.J., Glasser P.** On the thermal decomposition of nesquehonite. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2015. V. 122. P. 601–609. DOI: 10.1007/s10973-015-4756-0.
 23. **Kashcheev I.D., Zemlyanoi K.G., Ust'yantsev V.M., Voskretsova E.A.** Study of thermal decomposition of natural and synthetic magnesium compounds. *Refractories and Industrial Ceramics.* 2016. V. 56. N 5. P. 252-259. DOI 10.1007/s11148-016-9880-2.
 19. **Tabakaev R.B., Kazakov A.V., Zavorin A.S.** Prospectivity of low-grade fuels in the Tomsk region for heat-engineering use. *Izv. Tomsk. politekhn. un-ta.* 2013. V. 323. N 4. P. 41-46 (in Russian).
 20. **Unluer C., Al-Tabbaa A.** Characterization of light and heavy hydrated magnesium carbonates using thermal analysis. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2014. 115. P. 595–607. DOI: 10.1007/s10973-013-3300-3.
 21. **Hongrui Ren, Zhen Chen, Yulong Wu, Mingde Yang, Jin Chen, Husheng Hu, Ji Liu.** Thermal characterization and kinetic analysis of nesquehonite, hydromagnesite, and brucite, using TG–DTG and DSC techniques. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2014. V. 115. P. 1949–1960. DOI: 10.1007/s10973-013-3372-0.
 22. **Jauffret G., Morrison F.J., Glasser P.** On the thermal decomposition of nesquehonite. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2015. V. 122. P. 601–609. DOI: 10.1007/s10973-015-4756-0.
 23. **Kashcheev I.D., Zemlyanoi K.G., Ust'yantsev V.M., Voskretsova E.A.** Study of thermal decomposition of natural and synthetic magnesium compounds. *Refractories and Industrial Ceramics.* 2016. V. 56. N 5. P. 252-259. DOI 10.1007/s11148-016-9880-2.

Поступила в редакцию 15.01.2018
Принята к опубликованию 12.07.2018

Received 15.01.2018
Accepted 12.07.2018