СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ С ТОРФОМ

Н.Ш. Лебедева, Е.Г. Недайводин

*Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (ИПСА ГПС МЧС России),
153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33*

АННОТАЦИЯ. По специально разработанной методике получен строительный материал на основе магнезимального вяжущего с различным содержанием торфа (от 0 до 90 %). В качестве вяжущего использован ПМК-87, для затворения смеси — водный раствор хлорида магния и торф. Определены физические и физико-механические свойства исследуемого материала: прочность при сжатии и плотность. Проведен сравнительный анализ прочностных характеристик силикатного и керамического кирпича с полученными изделиями на основе магнезимального вяжущего и торфа. Установлено, что образцы строительного материала с содержанием торфа, не превышающим 40 % по массе, по прочности на сжатие можно отнести к материалам конструкционного назначения. Образцы материала с содержанием торфа 40 % имеют плотность 943,75 кг/м³, что обеспечивает хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства. Выявлено, что раствор сырьевой смеси магнезимального вяжущего, торфа, раствора бишофита является удобоукладываемым, а сам материал набирает не менее 85 % прочности в течение 30 дней.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительный материал, торф, магнезимальное вяжущее, хлорид магния, прочность, плотность, силикатный кирпич, керамический кирпич, фаза, теплоизоляционный материал.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лебедева Н.Ш., Недайводин Е.Г. Строительные композиции на основе магнезимальных вяжущих с торфом // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 6 (105). С. 642–646. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.642-646

THE CONSTRUCTION OF A COMPOSITION BASED ON MAGNESIA BINDER WITH PEAT

N.Sh. Lebedeva, E.G. Nedayvodin

*Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (IFRA SFS EMERCOM OF RUSSIA),
33 Stroiteley prospect, 153040, Ivanovo, Russian Federation*

ABSTRACT. Obtained building material based on magnesia binder with different content of peat (0 to 90 %), on a specially developed technique. As a binder used PMK 87, for mixing mixtures used aqueous solution of magnesium chloride and peat from the Ivanovo region. It were determined such physical and physico-mechanical properties of the investigated material as the compressive strength and the density. The strength characteristics of silicate bricks, ceramic bricks and the investigated material based on magnesia binder and peat was analyzed and compared. It is established that the samples of construction material with content of peat not exceeding 40 wt.% can be attributed to the materials of structural purpose by its compressive strength. Samples of the material with content of the peat 40% have a density 943,75 kg/m³, that provides good heat and sound insulation properties. It is revealed that the solution of the raw material mixture of magnesia binder, peat, the solution of bischofite is optimized to place, and the material gets at least 85% of its strength during 30 days.

KEY WORDS: Building material, peat, magnesia cement, magnesium chloride, strength, density, silicate brick, ceramic brick, phase, thermal insulating material.

FOR CITATION: Lebedeva N.Sh., Nedayvodin E.G. Stroitel'nye kompozitsii na osnove magnezial'nykh vyazhushchikh s torfom [The Construction of a Composition Based on Magnesia Binder with Peat]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 6 (105), pp. 642–646. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.642-646

Строительные материалы должны обладать рядом полезных свойств: быть экологически чистыми, прочными, огнестойкими, износостойкими, беспыльными и др. В строительной сфере доминирующую позицию занимает портландцемент, однако его производство финансово и энергозатратно, а также неблагоприятно влияет на окружающую среду [1]. Считается, что магнезийхлоридные цементы [2, 3] являются одними из самых перспек-

тивных материалов, способных частично заменить обычный цемент. Торф — горючее полезное ископаемое, образованное скоплением остатков растений, подвергшихся неполному разложению в условиях болот, содержит 50...60 % углерода [4]. Торф обладает низкой теплопроводностью и, несмотря на его высокую пожарную опасность, может рассматриваться как строительный материал [5]. На основании теоретических представлений нельзя

достоверно определить, какими свойствами будет обладать композиция, состоящая из огнеупорных (магнезит) и горючих (торф) материалов в различных условиях. Поэтому внимание исследователей направлено на изучение и создание новых строительных материалов, отвечающих различным требованиям безопасности [6].

Цель данной работы — определить ряд основных физико-механических характеристик (прочность, плотность, удобоукладываемость) изделия, полученного на основе магниевых вяжущих с различным содержанием торфа, а также провести сравнительный анализ полученных данных с аналогичными параметрами силикатного и керамического кирпича различных марок.

В качестве вяжущего использовался ПМК–87 (в пересчете на абсолютно сухое вещество содержание MgO составляет 89,2 %, SiO_2 — 0,84; CaO — 1,51 %; Fe_2O_3/Al_2O_3 — 1,67 %) производства ООО «МАГНЕЗИТ» из г. Сатка. Для затворения смеси использовалась вода из городской водопроводной сети, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011¹ и магний хлористый (бишофит) технический (производства ООО «Волгоградский магниевый завод»). Также в работе использовался верховой торф Ивановской области.

Для целей исследования было приготовлено 10 образцов с различным содержанием торфа (от 0 до 90 %) [7] по следующей методике: в смеситель заливается вода и засыпается сухой бишофит (хлорид магния) в количестве, необходимом для получения солевого раствора плотностью 1,2...1,22 г/см³. Все перемешивается до полного растворения, затем в раствор бишофита засыпается измельченный торф. Масса добавляемого торфа рассчитывается исходя из его влажности. Далее торф диспергируется при температуре 18...25 °С до однородного состояния в течение 1...2 ч с целью активации реакцион-

ных центров гуминовых веществ. Затем добавляется магнезит исходя из массового соотношения 1:3 $MgO:MgCl_2$ соответственно. Смесь перемешивается до однородного состояния и закладывается в форму размером 25 × 12 × 6,5 см. Выемка образца из формы осуществляется не ранее, чем через 6 ч после затворения. Образцы для испытаний выдерживаются 20 дней до полного затвердевания при температуре 25±2 °С.

Аппаратура, материалы, подготовка и проведение испытаний по определению прочности при сжатии камня вяжущего определена ГОСТом 8462-85².

При приготовлении образцов была отмечена удобоукладываемость раствора, полноценное заполнение формы без каких-либо манипуляций для распределения материала по объему формы.

Известно, что основным из показателей, по которым классифицируют строительные материалы, является прочность при сжатии. Полученные результаты прочностных испытаний представлены в табл. 1 и на рисунке.

Табл. 1. Характеристики цементного камня

Номер образца	Содержание торфа, % массы	Предел прочности при сжатии изделий, МПа
1	0	52,6
2	10	37,7
3	20	27,1
4	30	20,6
5	40	12,8
6	50	7,8
7	60	4,5
8	70	3,5
9	80	3,1
10	90	2,6

¹ ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия.

² ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

Прочностные характеристики исследуемого материала при сжатии в зависимости от содержания торфа

Исследование прочностных характеристик анализируемых образцов позволило установить, что при увеличении содержания торфа в изделии наблюдается постепенное понижение прочности материала. При этом достаточно высокие прочностные характеристики образцов можно получить в широких пределах содержания торфа (10...50 %). Сравнивая прочностные характеристики опытных

образцов, силикатного (табл. 2) и керамического кирпича (табл. 3), можно заключить, что при содержании торфа, не превышающем 50 %, все анализируемые образцы можно отнести к материалам конструкционного назначения.

При строительстве двух- и трехэтажных домов используют силикатный кирпич марки М100, который, судя по прочностным характеристикам, можно

Табл. 2. Показатели прочности силикатного кирпича различных марок и образцов анализируемого материала

Силикатный полнотелый одинарный кирпич по ГОСТ 379-2015 ³		Образцы, полученные на основе магнезиального вяжущего с различным содержанием торфа	
Марка изделий	Предел прочности (средний для десяти образцов кирпича) при сжатии изделий, МПа	Содержание торфа, % массы	Предел прочности при сжатии изделий, МПа
—	—	90	2,6
—	—	80	3,1
—	—	70	3,5
—	—	60	4,5
—	—	50	7,8
100	10	40	12,8
125	12,5		
150	15		
175	17,5	30	20,6
200	20		
250	25		
300	30	20	27,1
		10	37,7
		0	52,6

Табл. 3. Показатели прочности керамического кирпича различных марок и образцов анализируемого материала

Кирпич керамический одинарный по ГОСТ 530-2012 ⁴		Образцы, полученные на основе магнезиального вяжущего с различным содержанием торфа	
Марка изделий	Предел прочности при сжатии (средний для пяти образцов), МПа	Содержание торфа, % массы	Предел прочности при сжатии изделий, МПа
М25	2,5	80–90	2,6...3,1
М35	3,5	70	3,5
М50	5	60	4,5
М75	7,5		
М100	10		
М125	12,5	40	12,8
М150	15		
М175	17,5		
М200	20	30	20,6
М250	25		
М300	30		
М400	40	20	27,1
М500	50		
		10	37,7
		0	52,6

³ ГОСТ 379-2015. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия.

⁴ ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.

заменить на блоки на основе магниевых вяжущих с содержанием торфа 40 %. Из кирпича марки, превышающей М200, возводят несущие элементы для массивных конструкций зданий и сооружений, для данных целей прочностным критериям соответствуют образцы с содержанием торфа, не превышающим 30 %.

Практически полезные свойства и технические параметры строительных материалов в основном зависят от внутренней структуры материала. Прочность образца на основе магниевых вяжущих определяется формированием кристаллических фаз состава: $5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ и $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, первая метастабильна со временем переходит в стабильную $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ [8–10]. Указанные кристаллические фазы имеют форму игольчатых кристаллов, анизотропно расположенных, многократно пересекающихся, сращенных в местах пересечения, что вероятнее всего и обуславливает высокую прочность образцов [11]. Мы полагаем, что торф занимает пустоты между иглами кристаллов. Причем для торфосодержащих образцов кристаллическая сетка, сформированная фазой $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, более рыхлая, чем у образцов без торфа.

Таким образом, содержание торфа будет влиять не только на прочностные характеристики, но и на плотность образцов материала. Знание такого показателя, как плотность, необходимо для проведения расчетно-проектных работ и определения предельных нагрузок на фундаменты и несущие элементы здания.

Для определения средней плотности по ГОСТ 7025-91⁵ было приготовлено три образца с 40%-ным содержанием торфа по описанной выше методике. При расчете использовались весы ГОСТ Р 53228-2008⁶, линейка измерительная металлическая по ГОСТ 427-75⁷. Объем образцов определяли по их геометрическим размерам, измеряли с погрешностью не более 1 мм по формуле

$$V = abc, \quad (1)$$

$$V = 25 \cdot 12 \cdot 6,5 = 1950 \text{ см}^3,$$

где a, b, c — длина, высота и ширина, см, исследуемого образца соответственно.

Средняя плотность, кг/м^3 , определяется по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V} \cdot 1000. \quad (2)$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{1840,31}{1950} \cdot 1000 = 943,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Плотность силикатного полнотелого кирпича для конструктивных строительных материалов должна быть выше 1500 кг/м^3 . Однородная структура кирпича и, как следствие, высокая его плотность обеспечивает ему, с одной стороны, высокую механическую прочность, с другой — низкие тепло- и звукоизоляционные свойства. В случае применения для возведения здания монолитного кирпича следует принимать дополнительные меры по утеплению стен.

Полученные образцы материала с содержанием торфа 40 % имеют меньшую плотность $943,75 \text{ кг/м}^3$ по сравнению с аналогичной характеристикой силикатного или керамического полнотелого кирпича. Исходя из полученных данных, можно предположить, что исследуемый образец, содержащий от 0 до 40 % торфа, будет обладать хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Следует также отметить, что кирпич, полученный на основе магниевых вяжущих с 40 % торфа, по прочности не уступает силикатному полнотелому одинарному кирпичу марки М125 (см. табл. 2), и керамическому одинарному кирпичу марки М125 (см. табл. 3), при этом предложенный материал набирает прочность за более короткое время, не требует дополнительных затрат на автоклавирование, вибропрессование и др.

Таким образом, проведенные исследования показали, что материалы, полученные из органических (торф) и неорганических (отходы от производства огнеупоров) веществ, могут отлично конкурировать с современными строительными материалами, отвечать прочностным требованиям и одновременно выполнять роль теплоизоляционных материалов, их изготовление не требует существенных затрат, а смеси для их получения являются удобоукладываемыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Liska M., Al-Tabbaa A. Performance of magnesia cements in pressed masonry units with natural aggregates: production, parameters, optimisation // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22. No. 8. Pp. 1789–1797.
2. Finch T., Sharp J.H. Chemical reactions between magnesia and aluminium orthophosphate to form magnesia-

- phosphate cements // Journal of materials science. 1989. Vol. 24. No. 12. Pp. 4379–4386.

3. Singh D., Wagh Arun S., Cunnane J.C. et al. Chemically bonded phosphate ceramics for low-level mixed-waste stabilization // Journal of Environmental Science & Health. Part A. 1997. Vol. 32. No. 2. Pp. 527–541.

4. Hadden R.M., Rein G., Belcher C.M. Study of the competing chemical reactions in the initiation and spread of smouldering combustion in peat // *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013. Vol. 34. No. 2. Pp. 2547–2553.

5. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Ковалева М.А. Торфодревесные теплоизоляционные строительные материалы. Томск : Scientific and technical translations, 2009. 183 с.

6. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.

7. Недайводин Е.Г., Лебедева Н.Ш., Потемкина О.В. Кинетика термоокислительной деструкции строительных материалов на основе магнезимального вяжущего // *Пожарная безопасность*. 2016. № 2. С. 55–63.

8. Chau C.K., Qiao F., Li Z. Microstructure of magnesium potassium phosphate cement // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. No. 6. Pp. 2911–2917.

9. De Wolff P.M., Walter-Levy L. The crystal structure of $Mg_2(OH)_3(Cl, Br) \cdot 4H_2O$ // *Acta Crystallographica*. 1953. Vol. 6. No. 1. Pp. 40–44.

10. Зуев В.В., Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов. СПб. : Проспект науки, 2006. 139 с.

11. Dehua D., Chuanmei Z. The formation mechanism of the hydrate phases in magnesium oxychloride cement // *Cement and concrete research*. 1999. Vol. 29. No. 9. Pp. 1365–1371.

Поступила в редакцию в январе 2017 г.

Принята в доработанном виде в апреле 2017 г.

Одобрена для публикации в мае 2017 г.

Об авторах: Лебедева Наталья Шамильевна — доктор химических наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (ИПСА ГПС МЧС России), 153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33, evgenij-161@yandex.ru;

Недайводин Евгений Геннадьевич — адъюнкт адъюнктуры, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (ИПСА ГПС МЧС России), 153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33; evgenij-161@yandex.ru.

REFERENCES

1. Liska M., Al-Tabbaa A. Performance of Magnesia Cements in Pressed Masonry Units with Natural Aggregates: Production, Parameters, Optimization. *Construction and Building Materials*. 2008, vol. 22, no. 8, pp. 1789–1797.

2. Finch T., Sharp J.H. Chemical Reactions Between Magnesia and Aluminium Orthophosphate to Form Magnesia-Phosphate Cements. *Journal of Materials Science*. 1989, vol. 24, no. 12, pp. 4379–4386.

3. Singh D., Wagh Arun S., Cunnane J.C., Mayberry John L. Chemically Bonded Phosphate Ceramics for Low-Level Mixed-Waste Stabilization. *Journal of Environmental Science & Health*. Part A. 1997, vol. 32, no. 2, pp. 527–541.

4. Hadden R.M., Rein G., Belcher C.M. Study of the Competing Chemical Reactions in the Initiation and Spread of Smouldering Combustion in Peat. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013, vol. 34, no. 2, pp. 2547–2553.

5. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Kovaleva M.A. *Torfodrevesyne teploizolyatsionnye stroitel'nye materialy* [Peat and Wood Thermal Insulation Building Materials]. Tomsk, STT Publ., 2009. 183 p. (In Russian)

6. *Tekhnicheskiiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy* [Technical Regulations on Safety of Buildings

and Constructions]: Federal law of the Russian Federation of 30 Dec 2009 No. 384-FZ. (In Russian)

7. Nedayvodin E.G., Lebedeva N.Sh., Potemkina O.V. Kinetika termookislitel'noy destruktzii stroitel'nykh materialov na osnove magnezial'nogo vyazhushchego [Kinetics of Thermooxidative Destruction of Building Materials based on Magnesian Astringent]. *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire Safety]. 2016, no. 2, pp. 55–63. (In Russian)

8. Chau C.K., Qiao F., Li Z. Microstructure of Magnesium Potassium Phosphate Cement. *Construction and Building Materials*. 2011, vol. 25, no. 6, pp. 2911–2917.

9. De Wolff P.M., Walter-Levy L. The Crystal Structure of $Mg_2(OH)_3(Cl, Br) \cdot 4H_2O$. *Acta Crystallographica*. 1953, vol. 6, no. 1, pp. 40–44.

10. Zuyev V.V., Potseluyeva L.N., Goncharov Yu.D. *Kristalloenergetika kak osnova otsenki svoystv tverdotel'nykh materialov* [Crystallogenic as a Basis for the Evaluation of Properties of Solid Materials]. Saint-Petersburg, Prospekt nauki Publ., 2006. 139 p. (In Russian)

11. Dehua D., Chuanmei Z. The Formation Mechanism of the Hydrate Phases in Magnesium Oxychloride Cement. *Cement and Concrete Research*. 1999, vol. 29, no. 9, pp. 1365–1371.

Received in January May 2017.

Adopted in revised form in April 2017.

Approved for publication in May 2017.

About the authors: Lebedeva Natalia Shamilievna — Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor of the Natural Sciences Department, Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (IFRA SFS EMERCOM OF RUSSIA), 33 Stroiteley prospect, 153040, Ivanovo, Russian Federation, evgenij-161@yandex.ru;

Nedayvodin Evgeniy Gennadievich — Postgraduate Institute of Development, Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (IFRA SFS EMERCOM OF RUSSIA), 33 Stroiteley prospect, 153040, Ivanovo, Russian Federation, evgenij-161@yandex.ru.