

РЕГУЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА, СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ХЛОРМАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО

Магнезиальные материалы широко распространены в строительстве в последние 2 десятилетия. Однако основные проблемы их широкого применения в данной отрасли так до конца и не решены из-за таких факторов, как дробление и помол вводимых в состав магнезиального вяжущего добавок для повышения их удельной поверхности и гидравлической активности, позволяющих в тонкомолотом состоянии регулировать свойства получаемого камня за счет встраивания в структуру формирующихся оскигидрохлоридов магния катионов железа. Однако такие процессы ведут к непосредственному увеличению стоимости выпускаемого промышленностью магнезиального материала вследствие того, что необходимо приобретать дополнительные единицы оборудования. Поэтому актуальным является поиск добавок с аналогичным механизмом работы в структуре магнезиального камня, которые будут также содержать активные катионы металлов, и при этом встраиваться в структуру гидросиликатов магния и образовывать нерастворимые минералы магнезиального камня. Активный поиск привел нас к таким добавкам, введение которых в количестве 1% от массы вяжущего позволяет изменить основные свойства формируемого камня. В работе представлены результаты оценки влияния добавки золя гидроксида железа на схватывание и гидратацию магнезиального теста, формирование структуры и свойств магнезиального камня. При проведении данных исследований установлено, что золь гидроксида железа в составе хлормагнезиального вяжущего в количестве до 1% от его массы позволяет активизировать набор прочности камня в раннем возрасте и получить прочный магнезиальный камень (от 80 МПа и более) с высокой водостойкостью (не ниже 0,8) и низкой гигроскопичностью (не более 2%).

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, магнезиальный камень, золь гидроксида железа, гидратация, мицеллы.

REGULATION OF PHASE COMPOSITION, STRUCTURE AND PROPERTIES CHLORINE MAGNESIUM MATERIALS

Magnesia materials are widespread in construction in the last 2 decades. However, the main problem of their widespread use in the industry until the end and have not been solved because of factors such as crushing and grinding introduced in the magnesia rock additives to increase their surface area and hydraulic activity, allowing to mill ground state to regulate the properties of the resulting stone by embedded in the structure of emerging magnesium oskigidrohloridov iron cations. However, these processes lead to a direct increase in the cost of commercially available material because the details please purchase additional pieces of equipment. Therefore, a topical search supplements a similar mechanism works magnesia rock in the structure, which will also contain active metal cations and wherein vstaivatsya magnesium hydrosilicates structure and form insoluble mineral magnesia rock. At carrying out of these researches it has been determined that

the iron hydroxide sol introduced into the composition of the magnesia-chloride binder in the amount of up to 1% of the weight of the binder is an efficient additive allowing to activate the development of the rock strength at an early age and to obtain the magnesia rock with the strength of 80 МПа and more, the water-resistance of no less than 0,8, and the hygroscopic property of no more than 2%.

Keywords: magnesia binder, magnesia rock, iron hydroxide sol, hydration, micellas.

Как показывает практика, при получении новых современных материалов с использованием магнезиального вяжущего требуется осмысление геологических процессов образования в Земной коре месторождений магнезиальных пород. Так, В.А. Рудником [1], установлено, что перерождение магнезиальных магматических (гипербазитов) и осадочных (карбонатов, бруситов) пород связано с привнесением в них извне кремнезема и ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} . Позднее, при изучении Оротского месторождения оталькованных магнезитов, эти закономерности были подтверждены исследованиями О. А. Каплина с соавторами [2]. Они установили, что вследствие активного привноса в породы даже незначительного количества Si и высокоактивных ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} в магнезитах происходит замещение части ионов Mg^{2+} на привнесенные ионы железа и это способствует активному развитию в ней процессов отальковывания или серпентинизации. Эффективным способом снижения гигроскопичности магнезиальных материалов может стать нейтрализация заряда поверхности гидратных новообразований путем введения в структуру противоположно заряженных ионов, которые смогут адсорбироваться на гидратах магнезиального камня. Учитывая, что структурообразующие минералы хлормагнезиального камня заряжены отрицательно, для нейтрализации поверхности камня необходимы добавки, способные встраиваться в структуру камня и снижать его заряд. Для этого необходимо, чтобы добавки были способны диссоциировать в жидкой фазе магнезиального теста и обеспечивать поступление в раствор положительно заряженных катионов, способных встраиваться в структуру формирующихся гидратных фаз. Способность катионов адсорбироваться на поверхности твердого тела в большей степени зависит от их заряда и ионного радиуса [3, 4, 5]. При использовании двух- и трехвалентных катионов, имеющих определенный ионный

радиус, механизм адсорбционных процессов существенно изменяется (табл.).

Таким образом, катионы Ba^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , расположенные слева от катиона магния и имеющие одинаковый с ним заряд, но больший ионный радиус, способны легко встраиваться в структуру формирующихся магнезийсодержащих минералов с образованием новых гидратных соединений, снижая тем самым растворимость гидратных фаз. Катионы Fe^{3+} и Al^{3+} (в табл. справа от магния), заряд которых выше, чем у катиона магния, сильнее притягиваются к полярной поверхности гидратных новообразований камня, снижая или даже нейтрализуя тем самым заряд отрицательно заряженных структурообразующих минералов магнезиального камня.

Известно также, что введение в портландцемент добавок двух-, и особенно, трехвалентных металлов в виде солей сильной кислоты или слабого основания, таких как железо, алюминий, цинк и т.д., способствует повышению пластической прочности растворной смеси, увеличению кислотности жидкой фазы в твердеющем портландцементе и ускорению гидратационных процессов [6, 7, 8]. Исследования магнезиальных материалов показало, что введение в состав хлормагнезиального вяжущего железа в виде добавки колошниковой пыли или пиритных огарков повышает подвижность магнезиальной растворной смеси, а также прочность и водостойкость камня [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Учитывая это, нами были проведены исследования влияния тонкомолотых добавок металлургического шлака и железистого агломерата, с содержанием значительного количества трех- и двухвалентного железа, на состав гидратных фаз и свойства магнезиального камня [15, 16]. В результате установлено, что железосодержащие добавки способствуют ускорению гидратации магнезиального вяжущего, изменению состава

Таблица

Адсорбционная способность катионов

Вид катиона	Ba^{2+}	Zn^{2+}	Fe^{2+}	Ni^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}
Ионный радиус, Å	1,38	0,83	0,8	0,74	0,74	0,7	0,57
Направление усиления адсорбционной способности катионов в зависимости от ионного радиуса	←—————						
Направление усиления адсорбционной способности катионов в зависимости от заряда	—————→						

гидратных фаз, структуры и свойств получаемого камня. В результате получен модифицированный железосодержащими добавками оксихлоридный магнезиальный камень имеющий повышенную прочность, водостойкость и низкую гигроскопичность. Но такие добавки необходимо вводить в количестве 5-10% от массы вяжущего, в то время как при метасоматозе привносится ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} значительно меньше, но их воздействие на превращения в магнезиальных породах эффективнее. Кроме того в работах исследователей Петербургского госуниверситета путей сообщения [17, 18, 19] доказано, что эффективность добавок – золя кремнеземистой кислоты и трехвалентного железосодержащего золя, как активаторов гидратации и упрочнения цементных материалов, значительно выше, чем высокоэффективных тонкомолотых минеральных добавок. В связи с этим для улучшения свойств магнезиального камня представляется интересным использование в качестве модифицирующей добавки золя гидроксида железа.

Цель настоящей работы: изучить влияние золя гидроксида железа на фазовый состав, структуру и свойства хлормагнезиального камня.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- 1) оценить влияние золя на свойства магнезиального теста и получаемого камня;
- 2) изучить процесс гидратации и твердения вяжущего при введении золя гидроксида железа и исследовать его влияние на структурообразование модифицированного камня.

Для проведения исследований были использованы следующие материалы:

магнезиальное вяжущее – ПМК-75 (ОАО «Комбинат «Магнезит», г. Сатка);

модифицирующая добавка – хлорид железа $FeCl_3$ – ГОСТ 4147-74;

затворитель – хлорид магния (ООО «Каустик», г. Волгоград);

Модифицирующую добавку – золь гидроксида железа, получали из хлорида железа в соответствии с методикой [20], концентрация золя гидроксида железа в добавке составляла 0,1 %.

Для исследования влияния добавки золя гидроксида железа на свойства камня был реализован двухфакторный план-эксперимент, в котором значимыми факторами приняты:

X_1 – плотность затворителя, варьируемая от 1,20 до 1,24 г/см³;

X_2 – количество добавки золя от 0 до 1 % от массы вяжущего, исходя из предварительно проведенных исследований.

Откликами служили основные характеристики магнезиального теста и камня. Фазовый состав оценивали с помощью ДТА.

Образцы готовили из теста нормальной густо-

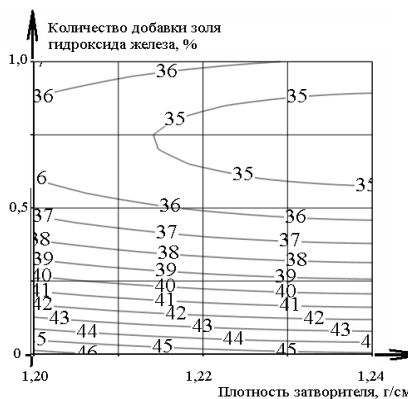
ты в виде балочек 4×4×16 см, которые твердели и набирали прочность в естественных условиях при температуре 20±5°С и относительной влажности воздуха 65±5 %.

При введении золя в затворитель проводили корректировку его плотности.

Результаты исследований подвергали математической обработке. По полученным математическим моделям оценивали влияние варьируемых факторов на свойства магнезиального теста и камня. Достоверность результатов исследований контролировали назначением количества опытов в серии, обеспечивающим доверительную вероятность не менее 95%.

Важными показателями, характеризующими свойства магнезиального теста и его технологичность, являются нормальная густота и сроки схватывания.

Влияние золя на подвижность модифицированного магнезиального теста представлено на рис. 1.

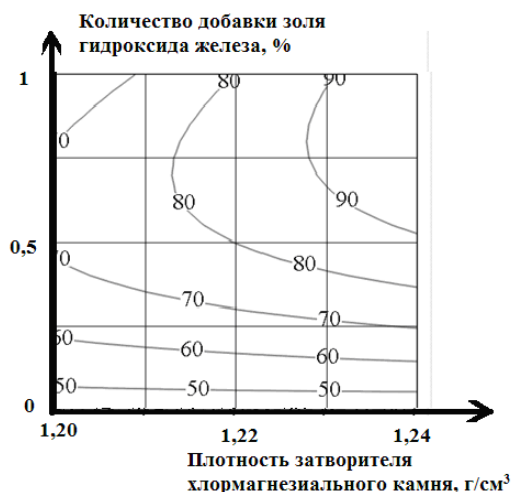


Критерий Фишера= 0,38981

Рис. 1. Нормальная густота хлормагнезиального камня, %

Полученные зависимости показывают, что введение добавки золя гидроксида железа в состав магнезиального теста приводит к снижению нормальной густоты на 10...12 % относительного бездобавочного. Наибольший эффект от действия добавки проявляется при введении ее в количестве 0,5...0,75 % от массы вяжущего независимо от плотности затворителя. Характер влияния добавки золя на сроки схватывания магнезиального теста показан на рис. 2.

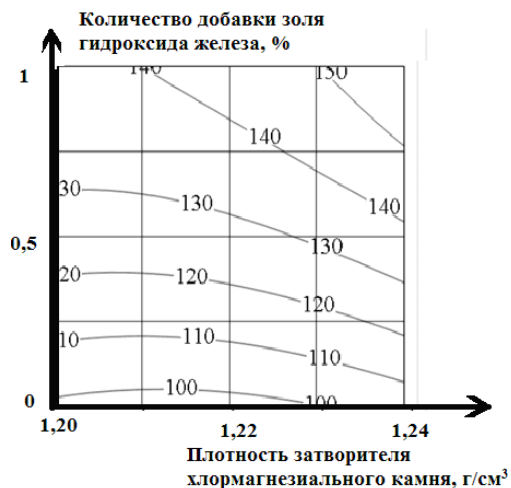
Из полученных выше зависимостей видно, что добавка золя гидроксида железа приводит к существенному замедлению сроков схватывания магнезиального теста, примерно на 30...40 минут. Вероятно, это связано с тем, что частицы золя, являясь мицеллами с высоким поверхностным зарядом, равномерно распределяясь в магнезиальном тесте, способствуют изменению величины поверхностного заряда частиц оксида магния, приводя к сжатию слоя иммобильной



Критерий Фишера = 1,31

а) начало схватывания теста, минут

Рис. 2. Сроки схватывания теста вяжущего, содержащего добавку золя гидроксида железа



Критерий Фишера = 1,53

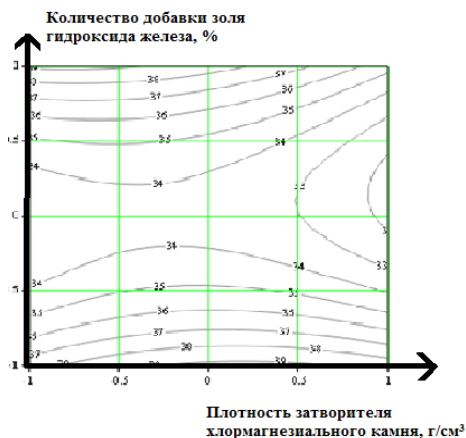
б) конец схватывания теста, минут

воды и увеличению подвижности смеси. Это в свою очередь блокирует частицы вяжущего, замедляет его гидратацию и схватывание.

Характер влияния золя гидроксида железа на прочность магниезиального камня (рис. 3) позволяет сделать следующие выводы.

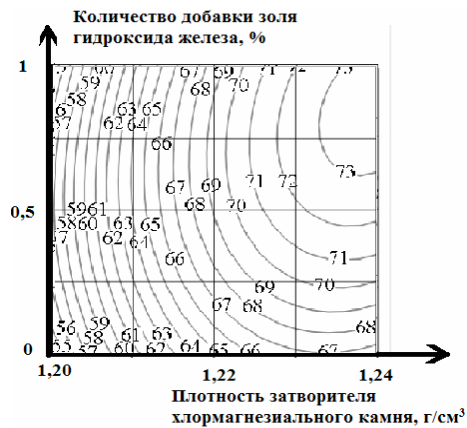
Из представленных зависимостей, видно, что добавка в первые сутки твердения не оказывает влияния на прочность камня. Это, вероятно,

связано с замедлением скорости гидратации из-за наведенного заряда вокруг частиц вяжущего (MgO). Но при дальнейшем твердении на модели четко формируется область с повышенными значениями прочности при плотности затворителя 1,22...1,24 г/см³ и количестве добавки 0,5...1%. Прочность камня при оптимальных значениях варьируемых факторов на 30% выше прочности бездобавочных составов.



Критерий Фишера=5,3

а) прочность 1 сутки



Критерий Фишера = 3,4

б) прочность 28 суток

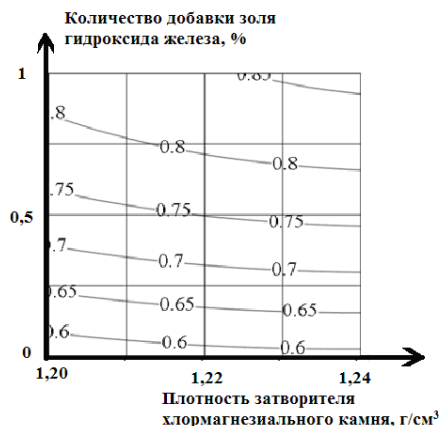
Рис. 3. Прочность модифицированного золем хлормagneзиального камня в разном возрасте

Дополнительно были исследованы гигроскопичность и водостойкость модифицированного хлормagneзиального камня (рис. 4) и выявлено следующее.

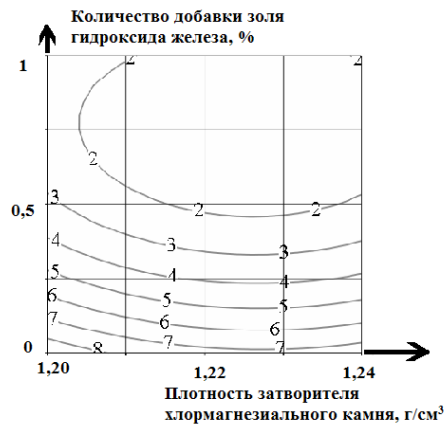
Добавка золя повышает водостойкость камня с 0,6 до 0,8 при снижении гигроскопичности с 8 до 2%. Такое изменение свойств магниезиального камня, вероятно, связано с уплотнением структуры и изменением фазового состава и заряда

новых гидратных новообразований, изменение которого связано с внедрением катионов железа в их структуру.

Для изучения влияния золя на фазовый состав хлормagneзиального камня проводили исследования фазового состава, их количественного и качественного содержания. Математические модели количественного содержания гидратных фаз, по данным ДТА, представлены на рис. 5.

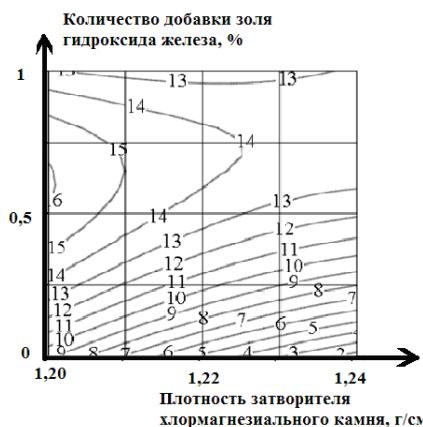


Критерий Фишера = 0,01
б) водостойкость

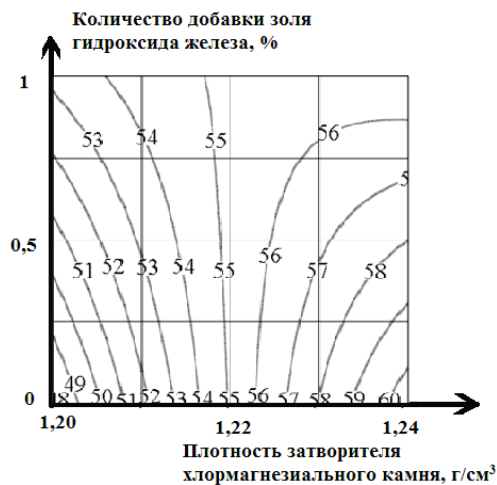


Критерий Фишера = 0,33
в) гигроскопичность

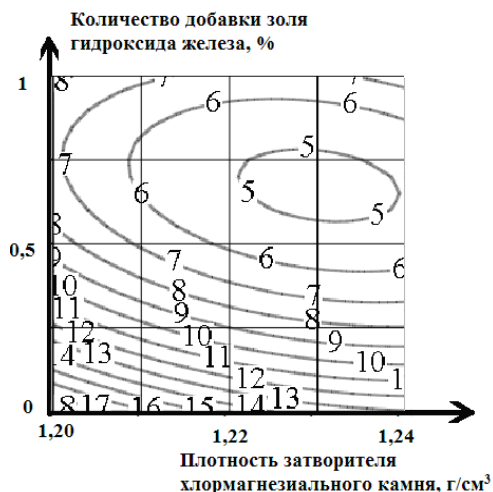
Рис. 4. Свойства хлормagneзиального камня, содержащего золю гидроксида железа



Критерий Фишера = 0,305746
а) гидроксид магния



Критерий Фишера = 0,72327
б) пента- и триоксигидрохлорида



Критерий Фишера = 1,38527
в) оксид магния

Рис. 5. Количественное содержание основных структурообразующих гидратных фаз модифицированного камня

Из рис.5 а видно, что с увеличением плотности затворителя количество пента – и триоксигидрохлорида магния в камне повышается, при этом золь практически не оказывает существенного влияния на присутствие в камне рассматриваемых фаз. В то же время золь способствует значительному повышению содержания в камне гидроксида магния (рис. 5 б) и снижению содержания пережога MgO (рис. 5 в) . Введение в магнезиальное тесто добавки-золя в количестве от 0,5 до 1%, приводит к формированию в структуре камня максимального количества гидроксида магния – 14...15%, и к снижению количества MgO до 5...6%.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Модифицирование магнезиального камня добавкой золя гидроксида железа позволяет повысить прочность с 60 до 80 МПа, водостойкость с 0,58 до 0,8 и снизить гигроскопичность с 8 до 2% хлормagneзиального камня.

Оптимальное количество модифицирующей добавки гидроксида железа в составе хлормagneзиального камня составляет 0,5...1,0 % при плотности затворителя 1,22-1,23 г/см³.

Достижимый эффект от введения добавки золя обусловлен повышением полноты гидратации вяжущего, разрушением крупных кристаллов пережога в начальный период твердения, некоторым изменением фазового состава новообразований и их габитуса.

Высокоактивный золь гидроксида железа, размеры ионов которого соизмерим с ионами магния, активно встраивается в структуру пентаоксигидрохлорида и гидроксида магния, изменяя габитус кристаллов, уплотняя структуру камня и изменяя его гигроскопичность.

Выявлено, что активное влияние добавки золя на структуру камня проявляется только в начальный период гидратации и твердения.

Литература

1. Рудник В.А. Атомно-объемный метод в применении к метасоматическому минерало- и породообразованию. –Л.: Недра, 1966. 118 с.
2. Каплин, О.А. Особенности талькового оруднения на онотском месторождении. /О.А. Каплин, Минкина Н.Б., Бобров В.А., Бутлер, Быкова Т.А. //Высокомагнезиальное сырье. – М.: Наука, 1991. – С. 218-233.
3. Шварцман, Л. А. Физическая и коллоидная химия / Л. А. Шварцман М. А. Менковский. –М.: Химия, 1981. –296 с
4. Нагорный, О. В. Синтез и анионообменные свойства гидроксидов металлов со структурой типа брусита и гидроталькита / О. В. Нагорный // Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. хим.наук / О. В. Нагорный. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2004. – 20 с.
5. Глинка Н. Л. Общая химия/ Глинка Н. Л.: Химия.Ленинградское отделение, 1988. – 702 с.
6. Рагинов, В. Б. Исследование механизма действия гидролизующихся солей в качестве добавок в бетон /В. Б. Рагинов, Т. И. Розенберг, Ш. С. Алимов // Строительные материалы и силикатная промышленность. – Брюссель НРБ, 1968. – С 3–9.
7. Рагинов, В.Б. Добавки в бетон / В. Б. Рагинов, Т. И. Розенберг – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
8. Розенберг Т. И. Исследование трехвалентных солей железа в качестве добавок – ускорителей твердения бетона / Т. И. Розенберг, Ш. С. Алимов и др.// Тр. Международ. Симпозиума по добавкам в раствор и бетон РИЛЕМ, –1967.– С 171–180.
9. А. с. 734160. Российская Федерация, МПК7 С 04В 28/30. Способ изготовления строительных изделий на магнезиальном вяжущем / М. В. Усов. - № С04В28/30; заявл; опубл. 1980, Бюл. 10.
10. А. с. 734160 СССР, МПК2 С04В17/00. Строительная смесь / К. Т. Кабиев, Ж. К. Курманбаев, С. Х. Маликов –№(21)2663269/29-33; заявл 28.08.78; опубл. 15.05.80, Бюл. № 18.
11. Горбаненко В. М. Теория и практика создания модифицированных магнезиальных цементов / В. М. Горбаненко, Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов, А. С. Королев // Вестник ЮУрГУ Строительные материалы и изделия. – 2001. – №5. – С. 10–13.
12. Мирюк, О.А. Магнезиальные композиции оксихлоридного твердения /О.А. Мирюк //Цемент и его применение. – 2003. – №7 – С 38 – 40.
13. Пат. 2130437 Российская Федерация, МПК7 С 04В 9/00. Сырьевая смесь / М. И. Горбачева. - № 98105998/03; заявл. 06.04.98; опубл. 06.04.98, – 9 с.

14. Пат. 2238251 Российская Федерация, МПК 7 С 04 В 28/30. Композиция на основе магнезиального вяжущего / В. М. Горбаненко – № 2002120644/03; заявл. 29. 07.02; опубл. 20.10.04, Бюл. № 29. – 6с.
15. Горбаненко, В.М. Получение магнезиального вяжущего для строительных целей / В.М. Горбаненко, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов //Композиционные строительные материалы. Теория и практика. – Пенза, 2002. – С. 217 – 219.
16. Зимич В.В. Снижение гигроскопичности и повышение стойкости хлормagneзиального камня путем введения трехвалентного железа /В.В. Зимич, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, Т.Н Черных //Строительные материалы, – 2009. – №5. – С.58-61.
17. Соловьева, В.Я. Получение и свойства бетонов с железом (III) – содержащим зо-зем / И.В. Степанова, В.Я. Соловьева, А.В. Касаткина, Д.С. Старчуков // Бетон и железобетон, - 2010. - № 3. – С. 16-18.
18. Сватовская, Л.Б. Особенности получения и свойства композиционных неор-ганических покрытий на цементной основе / Л.Б. Сватовская, В.Ю. Шунгин, Н.Н. Шунгина. – С. Петербург, 2005, 150 с.
19. Практикум по коллоидной химии: учебное пособие/ Под ред. М.И. Гельфмана. – СПб.: Издательство «Лань», 2005. – 256с.:ил. – (Учебник для вузов. Специальная литература).

References

1. Rudnik V.A. Atomno-ob»emnyj metod v primenении k metasomaticeskomu mineralo-i porodoobrazovaniyu [Atom-Volumetric Method as Applied to the Metasomatic and Mineral Rock-Forming]. –L.: Nedra, 1966. 118 p.
2. Kaplin, O.A. Osobennosti tal'kovogo orudneniya na onotskom mestorozhdenii [Characteristics of Talc Mineralization at the Onotskoe Deposit]. /O.A. Kaplin, Minkina N.B., Bobrov V.A., Butler, Bykova T.A. //High-Magnesia Raw Materials. – M.: Nauka, 1991. – P. 218-233.
3. Shvartsman, L. A. Fizicheskaya i kolloidnaya himiya [Physical and Colloid Chemistry] / L. A. Shvartsman, M. A. Menkovsky. –M.: Chemistry, 1981. –296 p.
4. Nagorny, O. V. Sintez i anionoobmennye svojstva gidroksidov metallov so strukturоj tipа brusita i gidrotal'kita [Synthesis and Anion-Exchange Properties of Metal Hydroxides with Brucite and Hydrotalcite-Type Structure] / O. V. Nagorny // Abstract of a thesis for the degree of a candidate of chemical sciences / O. V. Nagorny. – Perm: Publishing house of PSU, 2004. – 20 p.
5. Glinka N.L. Obshchaya himiya [General Chemistry]/ Glinka N.L.: Chemistry. Leningrad branch, 1988. – 702 p.
6. Ratinov, V. B. Issledovanie mekhanizma dejstviya gidrolizuyushchihsoj solej v kachestve dobavok v beton [Study of the Mechanism of Hydrolisable Salts as Concrete Additives] /V. B. Ratinov, T. I. Rosenberg, Sh. S. Alimov // Construction Materials and Silicate Industry. – Brussels NRB, 1968. – P 3–9.
7. Ratinov, V. B. Dobavki v beton [Concrete Additives] / . B. Ratinov, T. I. Rosenberg – 2-nd revised and enlarged edition. – M.: Stroyizdat, 1989. – 188 p.
8. Rosenberg T. I. Issledovanie trekhvalentnyh solej zheleza v kachestve dobavok – uskoritelej tverdeniya betona [Study of Trivalent Iron Salts as Additives – Accelerators] / T. I. Rosenberg, Sh. S. Alimov and colleagues.// Proceedings of the International Symposium on Solutions and Concrete Additives, –1967.– P 171–180.
9. A. c. 734160. Russian Federation, IPC7 S 04V 28/30. Sposob izgotovleniya stroitel'nyh izdelij na magnezial'nom vyazhushchem [Method for production of magnesia binder-based construction products] / M. V. Usov. - # S04B28/30; applied, published in 1980, Bull. 10.
10. A. c. 734160 of the USSR, IPC2 S04V17/00. Stroitel'naya smes' [Construction mix] / K. T. Kabiev, Zh. K. Kurmanbaev, S. Kh. Malikov –#(21)2663269/29-33; applied on 28.08.78; published on 15.05.80, Bull. # 18.
11. Gorbanenko V. M. Teoriya i praktika sozdaniya modifitsirovannyh magnezial'nyh cementov [Theory and Practice of Production of Modified Magnesia Cements] / V. M.

- Gorbanenko, L. Ya. Kramar, B. Ya. Trofimov, A. S. Korolev // Bulletin of the SUSU Construction Materials and Products. – 2001. – № 5. – P. 10–13.
12. Miryuk O.A. Magnezial'nye kompozicii oksihloridnogo tverdeniya [Magnesia Compositions of Oxichloric Curing] /O.A. Miryuk //Cement and its Application. – 2003. – #7 – P. 38 – 40.
13. Pat. 2130437 Russian Federation, IPC7 S 04V 9/00. Syr'evaya smes' [Raw mixture] / M. I. Gorbacheva. - # 98105998/03; applied on 06.04.98; published on 06.04.98, – 9 p.
14. Pat. 2238251 Russian Federation, IPC7 S 04 V 28/30. Kompoziciya na osnove magnezial'nogo vyazhushchego [Magnesia Binder-Based Composition] / V. M. Gorbanenko – # 2002120644/03; applied on. 29. 07.02; published on 20.10.04, Bull. # 29. – 6p.
15. Gorbanenko V. M. Poluchenie magnezial'nogo vyazhushchego dlya stroitel'nyh celej [Production of the Magnesia Binder for Construction Purposes] / . M. Gorbanenko, L. Ya. Kramar, B. Ya. Trofimov //Composite Construction Materials. Theory and Practice. – Penza, 2002. – P. 217 – 219.
16. Zimich V.V. Snizhenie gigroskopichnosti i povyshenie stojkosti hlormagnezial'nogo kamnya putem vvedeniya trekhvalentnogo zheleza [Decrease of the Hygroscopic Property and Increase of the Resistance of the Magnesia-Chloride Rock by Introduction of Trivalent Iron] /V.V. Zimich, L. Ya. Kramar, B. Ya. Trofimov, T.N. Chernykh //Construction Materials, – 2009. – #5. – P.58-61.
17. Solovieva, V.Ya. Poluchenie i svojstva betonov s zhelezo (III) – soderzhashchim zolem [Production and Properties of Concretes with Ferrous (III) Sol] / I.V. Stepanova, V.Ya. Solovieva, A.V. Kasatkina, D.S. Starchukov // Concrete and Reinforced Concrete, - 2010. - # 3. – P. 16-18.
18. Solovieva, V.Ya. Osobennosti polucheniya i svojstva kompozicionnyh neorganicheskikh pokrytij na cementnoj osnove [Designing of High-Strength Concrete with Improved Physical-Mechanical Characteristics] / V.Ya. Solovieva, I.V. Stepanova, N.V. Ershikov // Concrete and Reinforced Concrete. – 2007. – # 3,. – P. 15-19.
19. Praktikum po kolloidnoj himii: uchebnoe posobie [Practical course of colloid chemistry: manual] / Edited by M.I. Gelfman. – SPb.: Lan Publishing house, 2005. – 256p.:il. – (College textbook. Special literature).

Зимич В. В.,

к.т.н., доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. E-mail: stroy-ingener@yandex.ru

Zimich V. V.,

PhD in construction, docent, South Ural State University, Chelyabinsk. E-mail: stroy-ingener@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.01.2017