

вається пластично, що підтвердили й експериментальні дослідження [4]. Це дає змогу зробити висновок про значну надійність досліджуваних конструктивних елементів.

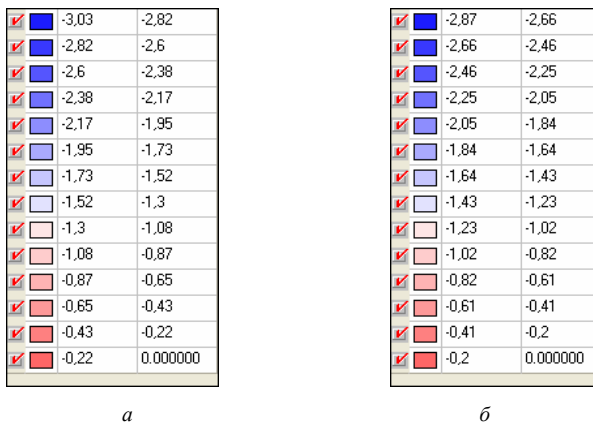


Рис.8 – Значення переміщень для балок (см):

а – відстань між зусиллями 1,5 м; б – відстань між зусиллями 1 м.

1.Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С.Городецкий, И.Д.Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

2.Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В.Перельмутер, В.И.Сливкер. – К.: ВВП “Компас”, 2001. – 448 с.

3.Победра Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности / Б.Е. Победра. – 2-е изд. – М.: МГУ, 1995. – 366 с.

4.Стороженко Л.І. Експериментальні дослідження таврових сталезалізобетонних балок з армуванням листами / Л.І. Стороженко, О.В. Нижник, А.В. Іванюк // Збірник наукових праць ДДНДІ ім. М.П. Шульгіна. Вип.11. – К., 2009. – С.325-330.

5.Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції / Л.І. Стороженко, О.В. Семко. – Полтава, 2001. – 55 с.

Отримано 27.12.2011

УДК 666.941

Р.Р.БАДАМШИН, А.А.ЯУШЕВ, Л.С.ЯУШЕВА, канд. техн. наук,

В.Т.ЕРОФЕЕВ, д-р техн. наук

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г.Саранск  
(Российская Федерация)

Е.В.КОНДРАЩЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА МАГНЕЗИАЛЬНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

Приводятся исследования структуры, физико-механических свойств, химического и биологического сопротивления композитов на магниезальном связующем.

Наведено дослідження структури, фізико-механічних властивостей, хімічного та біологічного опору композитів на магнезійному в'язучому.

In article researches of structure, physicommechanical properties, chemical and biological resistance of composites on magnesite the binding are resulted.

*Ключевые слова:* магнезиальные вяжущие, структура, компоненты, биостойкость.

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе приводятся результаты многочисленных исследований строительных растворов и бетонов на основе различных видов цементов, гипсовых и известковых вяжущих, которые используются в массовом строительстве. Но кроме указанных вяжущих, для изготовления отдельных элементов зданий и сооружений возможно использование эффективных материалов на основе магнезиальных вяжущих. Данные вяжущие обладают рядом положительных показателей, к которым относятся: достаточно короткие сроки схватывания, малая усадка при твердении, значительное сопротивление истиранию и ударная прочность затвердевшего магнезального камня, высокая термостойкость в достаточно широком интервале температур и негорючесть [1, 2].

В данной работе приводятся результаты исследований структуры композитов на магнезальном связующем, их физико-механических свойств, химического и биологического сопротивления. Исследование структуры магнезиальных композитов осуществляли с помощью рентгеноструктурного анализа, физико-механические свойства, химическое и биологическое сопротивление определялись в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТ.

При выполнении исследований в качестве вяжущего использовали среднезакристаллизованный каустический магнезит марки ПМК-75, затворителями служили водные растворы хлорида магния и сульфата магния с плотностью  $1,25 \text{ г/см}^3$ , а наполнителями являлись порошки на основе минеральных материалов и отходов промышленности различной крупности (мм): кварцевый песок (0,16-0,315; 0,315-0,63; 0,63-1,25), доломит Иссинского карьера Пензенской области (0,16-0,315; 0,315-0,63; 0,63-1,25), отсева высокопрочного щебня мелких фракций Миньярского карьера Уральского месторождения (0,16-0,315; 0,315-0,63; 0,63-1,25), кирпичный бой (0,16-0,315; 0,315-0,63; 0,63-1,25), сосновые опилки (0,315-0,63).

При приготовлении составов на основе каустического магнезита была принята следующая технология: по выбранным соотношениям вяжущее/наполнитель, бишофит/магнезит, определялось количественное содержание каждого компонента. Затем сухие компоненты (каустический магнезит и наполнитель) тщательно перемешивались. После этого

в работающий смеситель добавлялся раствор бишофита и осуществлялось перемешивание до получения однородной смеси. Из полученной смеси формовались образцы размером 1х1х3 см, которые выдерживались в течение 7 суток в нормальных температурно-влажностных условиях, после чего испытывались.

*Исследование структурообразования магниезиальных композитов.* Для изучения влияния вида затворителя и природы наполнителя на структурно-фазовые превращения, происходящие при твердении магниезиальных бетонов проведены исследования с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА). Фазовый рентгеноструктурный анализ сводился к сопоставлению экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей линий с эталонными рентгенограммами.

В задачу рентгеноструктурного анализа входило определение количественного содержания отдельных фаз в многофазовых поликристаллических материалах по интенсивности дифракционных максимумов. При оценке фазового состава базовым считался набор доминирующих элементов образца, то есть таких, содержание которых в оксидной форме не было ниже 5% по массе. Определение фазового состава проводилось в соответствии с базой данных для кристаллических веществ путем автоматического отбора. Исследования проводились на установке ДРОН-6 при следующих параметрах: напряжение на трубке – 40 кВ; ток – 20 мА; длина волны – 1,54051 Å. Обработка результатов осуществлялась с помощью комплекса программ PDWin 4.0 (разработчик НПО «Буревестник»).

При выполнении исследований рассматривались следующие составы: двухкомпонентная смесь (каустический магнезит – 110 мас.ч. и водный раствор бишофита – 100 мас.ч.); двухкомпонентная смесь (каустический магнезит – 140 мас.ч. и водный раствор сульфата магния – 100 мас.ч.); трехкомпонентная смесь (каустический магнезит – 50 мас.ч., водный раствор бишофита – 50 мас.ч. и кварцевый наполнитель фракции 0,16-0,315 мм – 100 мас.ч.); трехкомпонентная смесь (каустический магнезит – 50 мас.ч., водный раствор бишофита – 50 мас.ч. и доломитовый наполнитель – 100 мас.ч.). Для испытаний использовались тонкоизмельченные порошки, которые изготавливались после отверждения в течение 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях. Рентгенограммы порошков на основе каустического магнезита и его смесей с различными затворителями приведены на рис.1.

Из рентгенограммы двухкомпонентной смеси каустического магнезита и водного раствора бишофита видно, что в результате взаимодействия компонентов образуются устойчивые фазы  $3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$

(рис.1, а), а основными фазами, составляющими сульфомагнезиальный камень являются:  $Mg(OH)_2$  и  $3MgO \cdot 2MgSO_4 \cdot 8H_2O$  (рис.1, б).

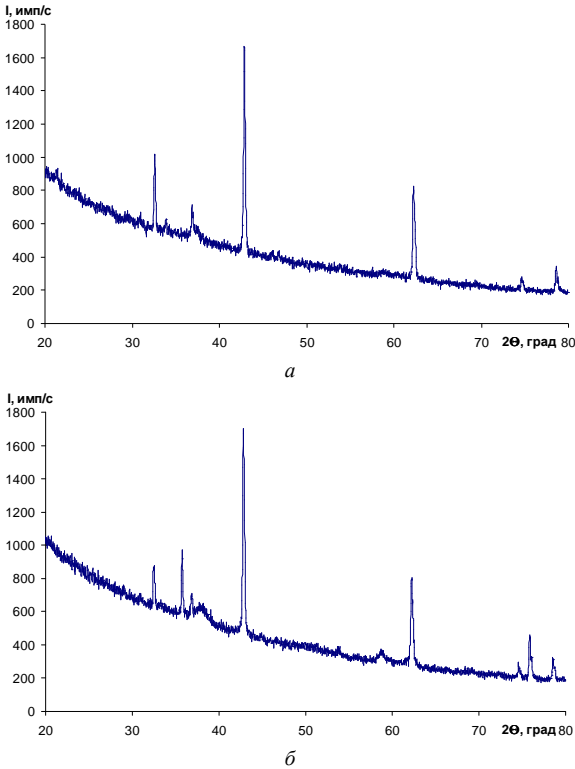


Рис.1 – Рентгенограммы порошков магнезиального камня с различными затворителями:  
 а – хлормагнезиальные композиты на основе бишофита;  
 б – сульфомагнезиальные композиты на основе сульфата магния.

Из рентгенограммы трехкомпонентной смеси каустического магнезита, водного раствора бишофита и кварцевого наполнителя видно, что основными компонентами являются:  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ ,  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  (рис.2, а).

При взаимодействии каустического магнезита, водного раствора бишофита и доломита Иссинского месторождения Пензенской области, образуются соединения другого вида (рис.2, б):  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ ,  $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$  с вдвое меньшим содержанием триоксихлорида магния  $Mg(OH)_2$ .

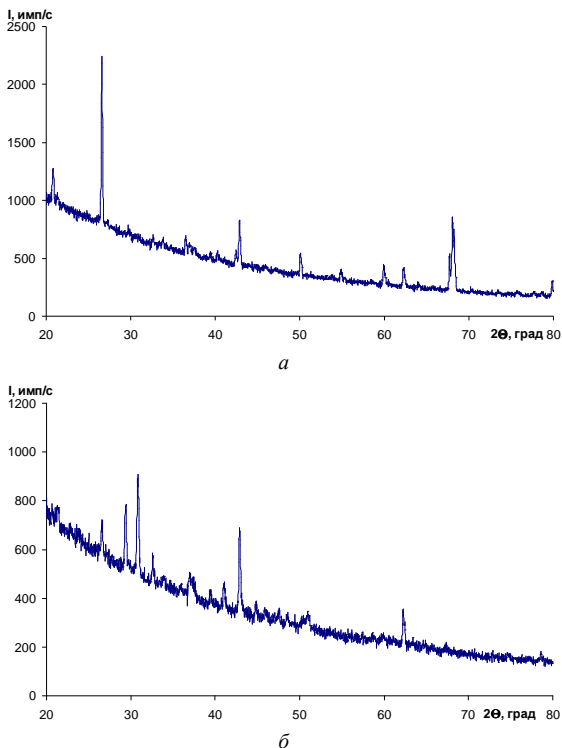
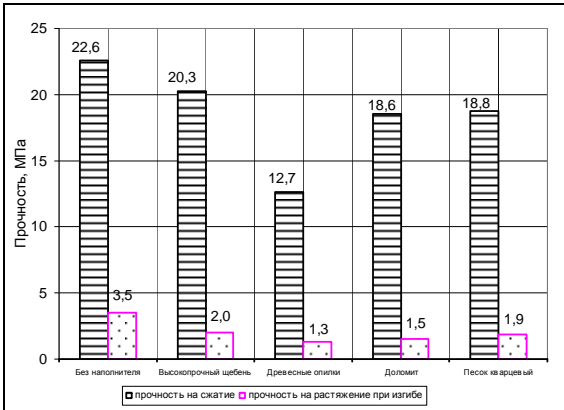


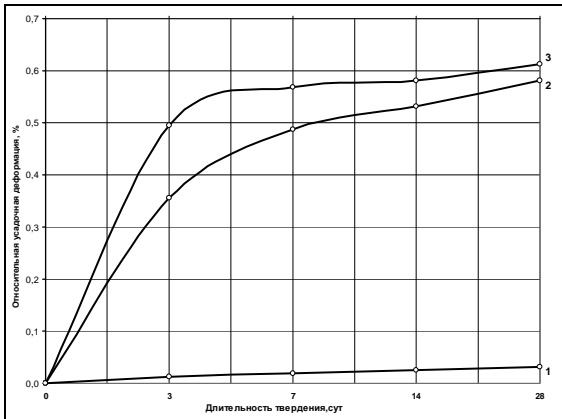
Рис.2 – Рентгенограммы порошков на основе каустического магнезита и смесей, затворенных бишофитом, с различными наполнителями:  
а – наполненные кварцевым песком; б – наполненные доломитом Иссинского месторождения.

Таким образом, из результатов проведенного исследования следует, что применение в качестве наполнителя доломитовых порошков вместо кварцевых приводит к образованию тонкокристаллической массы, адгезионно связанной с первичными частицами вяжущего и наполнителя. Образование устойчивых фаз триоксигидрохлорида магния, имеющих форму удлинённых кристаллов, армирует структуру магнезильного камня.

*Исследование прочности и усадки композитов.* В дальнейшем были проведены исследования прочности композитов и усадки, изготовленных из равноподвижных композиций с различными наполнителями. Усредненные показатели свойств, в зависимости от природы и фракционного состава наполнителя, приведены на рис.3.



*a*



*б*

Рис.3 – Рентгенограммы порошков на основе каустического магнезита и смесей, затворенных бишофитом, с различными наполнителями:  
*a* – наполненные кварцевым песком; *б* – наполненные доломитом Иссинского месторождения.

Результаты испытаний показали, что наибольшую прочность при сжатии и изгибе имеют составы, наполненные отсевами высокопрочного щебня фракций 0,16-0,315 мм. Для этих составов прочность при сжатии и изгибе составляет 20,9 и 2,1 МПа. При использовании в качестве наполнителя доломита Иссинского месторождения и кварцевого песка максимальная прочность материалов также характерна в случае применения зерен крупностью 0,16-0,315 мм, соответственно ( $R_{сж}= 18,6$  МПа,  $R_{изг}= 1,5$  МПа) и ( $R_{сж}= 18,8$  МПа,  $R_{изг}= 1,8$  МПа). При использовании же

древесных опилок прочность оказалась ниже и составила  $R_{сж}=12,7$  МПа и  $R_{изг}=1,3$  МПа.

При исследовании усадки магнизиальных композитов рассматривались образцы-балочки размером  $40 \times 40 \times 160$  мм, которые твердели в условиях естественной влажности воздуха (60-65%) при температуре  $20 \pm 2$  °С. Относительные линейные деформации устанавливали с помощью индикатора часового типа. Результаты испытаний приведены на рис.3, б. Исследования показали, что с увеличением плотности наполнителя усадочные деформации значительно уменьшаются. Для составов, наполненных сосновыми опилками фракций 0,63-1,25 мм, и доломитом фракций 0,63-1,25 мм характерны более высокие значения усадочных деформаций в первые трое суток твердения. При этом уменьшение размеров частиц наполнителя приводит к уменьшению относительных усадочных деформаций. Из графиков также следует, что после 3 суток твердения наблюдается стабилизация показаний усадочных деформаций. Для составов, наполненных материалом с низкой пористостью – кварцевым песком фракций 0,63-1,25 мм, характерны более низкие значения усадочных деформаций.

*Исследование химической стойкости.* Использование магнизиальных вяжущих в производственных зданиях, например для покрытий полов, предъявляет к ним требования по сопротивлению воздействиям агрессивных сред. Основными агрессивными средами, воздействующими на покрытия в промышленных и других видах зданий, как правило, являются водные растворы солей, кислот, щелочей и различных моющих средств. Известно, что снижение проницаемости композитов возможно за счет введения в их состав наполнителей в оптимальном количестве. В этой связи рассмотрены составы, содержащие наполнители различной природы. Во всех составах количество отвердителя – бишофита принималось равным 100 мас.ч. на 100 мас.ч. вяжущего. Количество наполнителя принималось из условия получения равноподвижных композиций. Так, количество порошков на основе кварца, отсевов высокопрочного щебня и доломита принималось равным 200 мас.ч., а древесных опилок – 25 мас.ч. на 100 мас.ч. вяжущего. Образцы были изготовлены в виде образцов-балочек размером  $1 \times 1 \times 3$  см. В качестве агрессивных сред при выполнении исследований использовались вода и водные растворы моющего средства (Fairgy) 5%-ной концентрации едкого натра и серной кислоты. Химическая стойкость композитов оценивалась по изменению коэффициента стойкости по прочности при сжатии и изменению массосодержания образцов, выдержанных в указанных средах сроком до 6 месяцев. Испытания проводились при нормальной температуре. Результаты испытаний приведены на рис.4.

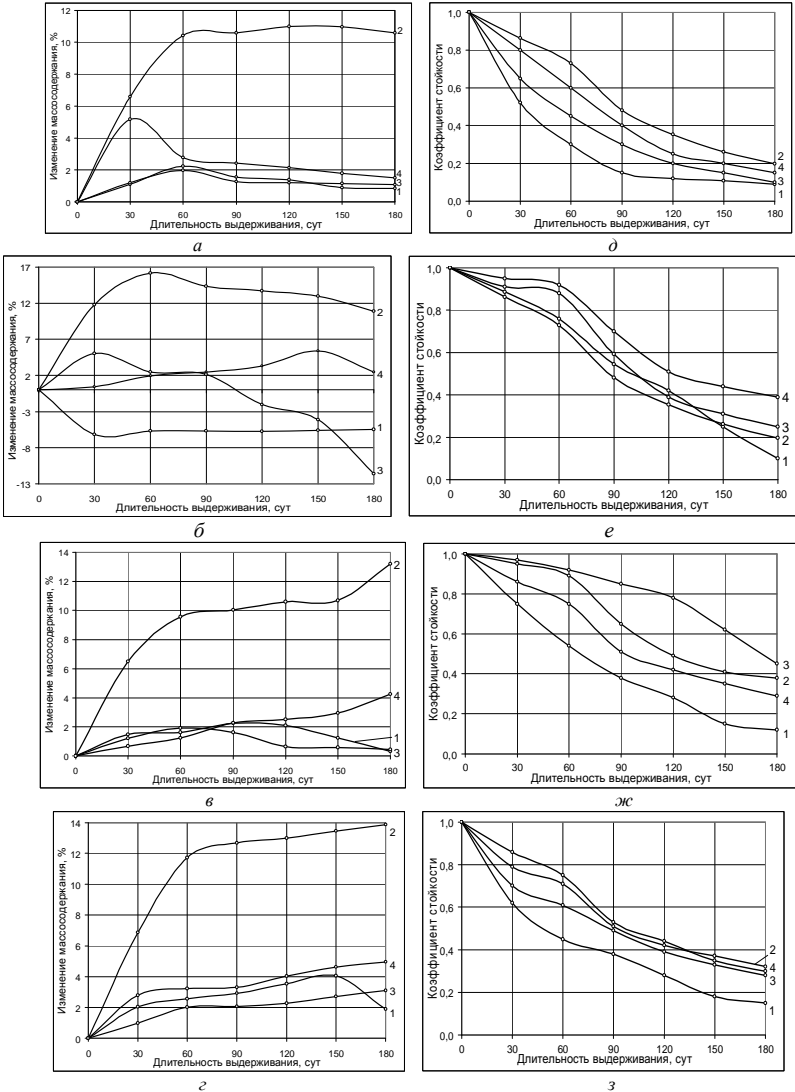


Рис.4 – Зависимость изменения массосодержания (*a-z*), коэффициента стойкости (*д-ж*) составов на основе магнизиальных вяжущих длительности выдерживания в воде (*a, д*), в 5%-ном растворе серной кислоты (*б, е*), 5%-ном растворе моющего средства (*в, ж*), 5%-ном растворе едкого натра (*з, з*) и от вида наполнителя:

1 – порошок на основе кварцевого песка; 2 – порошок на основе древесных опилок (сосна); 3 – порошок на основе отсевов дробления высокопрочного щебня; 4 – порошок на основе доломита).



При выдерживании в воде у всех составов в начальные сроки наблюдается увеличение массосодержания, затем, при экспозиции в течение периода от 60 до 150 суток их массосодержание стабилизируется. После 150 суток выдерживания массосодержание образцов начинает уменьшаться, что можно объяснить началом процесса вымывания компонентов. Максимальное увеличение массосодержания к концу срока испытаний показали составы, наполненные древесными опилками (11% от первоначальной массы), причем изменение массосодержания в первые 60 суток происходило резко, затем процессы стабилизировались. После 150 суток выдерживания в воде масса материалов, наполненных древесными опилками начала постепенно уменьшаться. Наименьшее изменение массосодержания показали составы, наполненные измельченными отсевами высокопрочного щебня (1,98% от первоначальной массы). Массосодержание составов плавно увеличивается в первые 60 суток выдерживания в воде до своего максимального значения. После 60 суток – происходит плавное уменьшение массосодержания. Из анализа экспериментальных данных также следует, что после 6 месяцев выдерживания в воде прочность композитов уменьшилась на 75-81%. Лучшие результаты по показателю коэффициента стойкости показали составы, наполненные древесными опилками и доломитом, а наибольшее снижение прочности характерно для составов, наполненных кварцевым песком.

У составов, содержащих в качестве наполнителя порошки кварца и доломита, при выдерживании в 5% растворе серной кислоты произошло уменьшение массосодержания уже в первые сутки испытаний. Для композитов, наполненных отсевами высокопрочного щебня характерно увеличение массосодержания в первые 30 сут., затем происходило плавное снижение до значения 11,6%. Максимальное увеличение массосодержания показали составы, наполненные древесными опилками (16,2% от первоначальной массы), причем, изменение массосодержания в первые 60 сут. выдерживания происходит интенсивно, а далее наблюдается постепенное его уменьшение. Наименьшее изменение массосодержания характерно для составов, наполненных доломитом. После выдерживания образцов в растворе серной кислоты 5% концентрации прочность композитов уменьшилась на 60-80%, причем самый низкий коэффициент стойкости из рассмотренных составов после 6 месяцев выдерживания показали материалы, наполненные кварцевым песком (потеря прочности до 80%), а более высокий показатель имеют составы, наполненные порошками доломита и отсевами высокопрочного щебня.

Составы, наполненные доломитом и древесными опилками, после выдерживания в растворе моющего средства показали плавное увеличе-

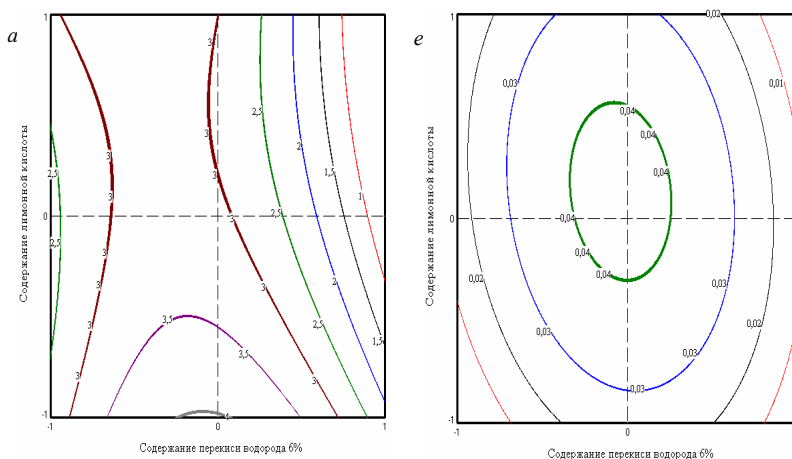
ние массосодержания. Причем максимальное значение изменения массосодержания характерно для композитов, наполненных древесными опилками (13,2% от первоначальной массы). Для композитов, наполненных кварцевыми порошками и отсевами дробления высокопрочного щебня, характерно постепенное увеличение массосодержания по мере выдерживания, а после 90 суток испытаний происходит уменьшение массосодержания образцов, что можно объяснить вымыванием компонентов материала. Прочность материалов в растворе моющего средства уменьшилась на 55-88%, при этом наибольший коэффициент стойкости показали составы, наполненные доломитом, отсевами высокопрочного щебня и древесными опилками. Наименьший коэффициент стойкости после 6 месяцев выдерживания показали составы, наполненные кварцевым порошком (потеря прочности до 88%).

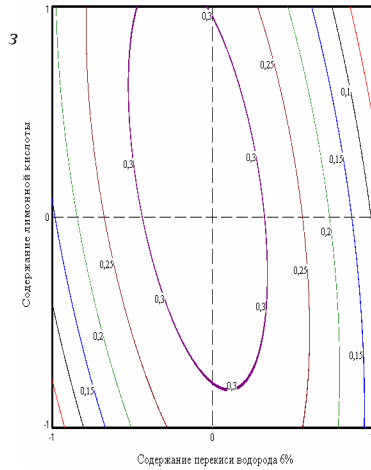
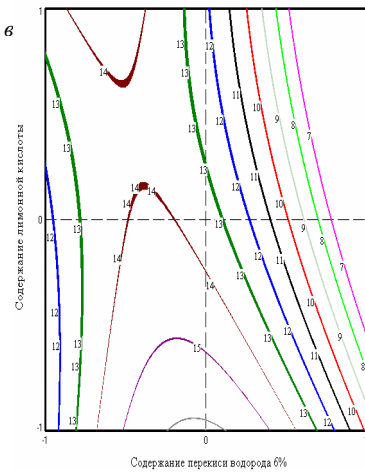
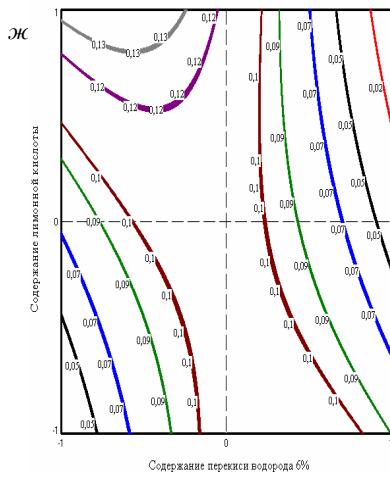
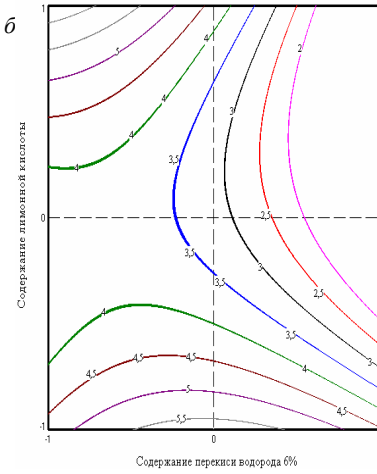
При выдерживании в растворе едкого натра, с кварцевым наполнителем эксперименты показали в начальные сроки увеличение массосодержания, а после 150 сут. выдерживания – резкое ее уменьшение. Составы с другими наполнителями показали увеличение массосодержания в первые 60 сут. выдерживания, затем показания стабилизировались. Максимальное увеличение массосодержания характерно для составов, наполненных древесными опилками (13,9% от первоначальной массы). В растворе едкого натра прочность образцов уменьшилась на 65-85%, причем наибольший коэффициент стойкости показали композиты, наполненные доломитом, отсевами высокопрочного щебня и древесными опилками. Более низкий коэффициент стойкости после 6 месяцев выдерживания характерен для составов, наполненных кварцевым песком (потеря прочности составляет до 85%).

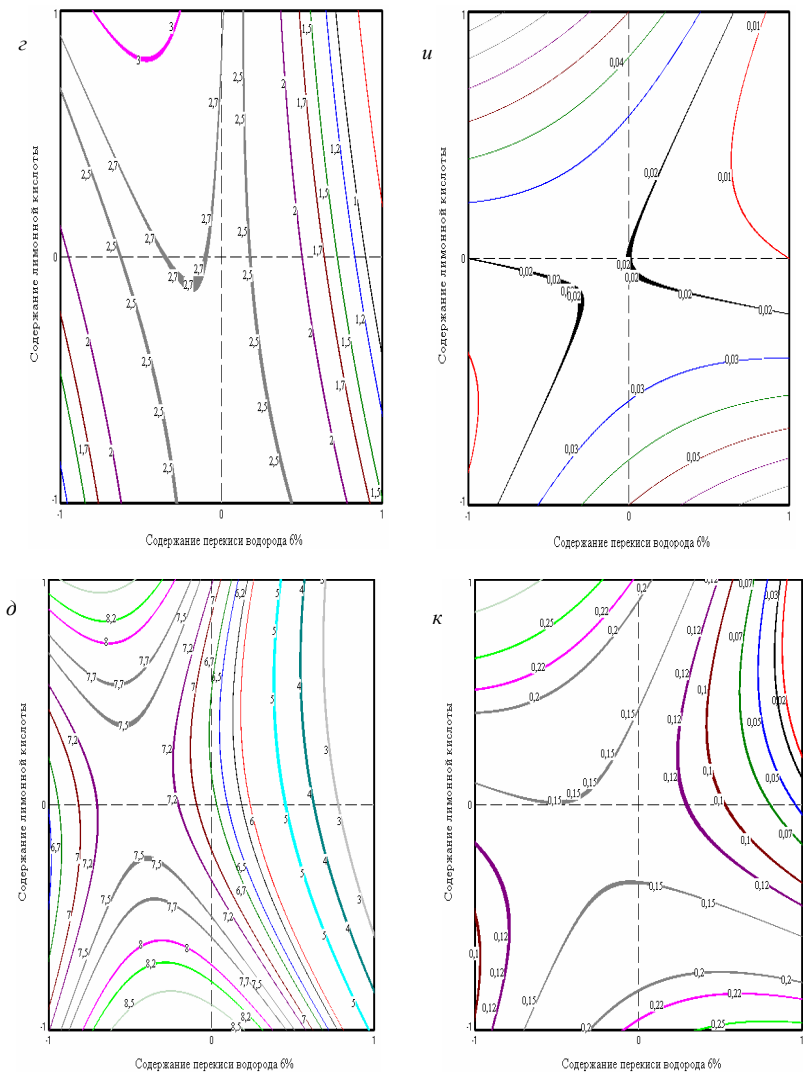
*Исследование биологической стойкости.* Обследования зданий и сооружений показывают, что из всего многообразия микроорганизмов разрушения в зданиях и сооружениях чаще всего вызывают мицелиальные грибы [3]. Разрушительное действие мицелиальных грибов на те или иные материалы зависит от состава их метаболитов – органических кислот, окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов. В этой связи изучение их стойкости в смеси агрессивных веществ, являющихся продуктами метаболизма микроскопических организмов, представляет значительный интерес. При проведении экспериментальных исследований в качестве чистых химических веществ – возможных агентов биокоррозии использовались различные сочетания лимонной кислоты и перекиси водорода. Примерные интервалы продуцирования этих веществ грибами составляют: для лимонной кислоты – 0,02-0,2 моль (или 0,1-10%); для перекиси водорода – 0,01-0,1 моль (или 0,03-3%) [4]. С учетом этого были проведены исследования по выявлению

сочетания данных компонентов, приводящих к наибольшим коррозионным разрушениям композитов на магниезиальном связующем. Рассматривались композиты с различными наполнителями, а в качестве контрольного варианта рассматривался ненаполненный состав. Задача решалась реализацией матрицы планирования (план Коно из 9 опытов), варьируемыми факторами по которой являлись содержание лимонной кислоты ( $X_1$ ) и перекиси водорода ( $X_2$ ) в водном растворе. В качестве исследуемых параметров у композитов рассматривались изменение массосодержания и коэффициента стойкости по прочности на сжатие. После реализации эксперимента были получены зависимости изменения массосодержания и коэффициента стойкости композитов при выдерживании образцов в модельных средах в течение 90 суток (рис.5).

Из полученных графиков следует, что все рассмотренные варианты модельных сред, имитирующих биологическое воздействие на строительные материалы, являются агрессивными по отношению к композитам на магниезиальном связующем. Менее всего негативному воздействию биологической среды подвергаются композиты, наполненные отсевом дробления высокопрочного щебня, для которых максимальное изменение массосодержания составляет 3,2% при минимальном содержании перекиси водорода и лимонной кислоты. Максимальное значение изменения массосодержания характерно для составов наполненных древесными опилками и составляет 16,3% при том же минимальном количестве перекиси водорода и лимонной кислоты. Наименьшую потерю прочности показали ненаполненные составы, а также композиты, наполненные древесными опилками, для которых максимальное снижение прочности составляет 0,65 и 0,54% соответственно.







**Рис.5 – Зависимость изменения массосодержания (*а-д*), коэффициента стойкости (*е-к*) составов на основе магниезалильных вяжущих от содержания перекиси водорода и лимонной кислоты в модельных биологических средах, наполненных кварцевым песком (*а, е*), доломитом (*б, ж*), сосновыми опилками (*в, з*), отсевами высокопрочного щебня (*з, и*) и ненаполненных композитов (*д, к*).**

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлены закономерности структурообразования, упруго-прочностные свойства магниезиальных композитов и получены эффективные составы магниезиальных материалов с применением местных и недефицитных наполнителей, обладающие высокими показателями прочности, улучшенным химическим и биологическим сопротивлением, а также пониженной усадкой.

1. Плеханова Т.А. Магниезиальные композиционные материалы, модифицированные сульфатными добавками: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Плеханова Татьяна Анатольевна; КГАСА. – Казань: РГБ, 2006. – 24 с.

2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

3. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Семичева А.С., Морозов, Е.А. Биологическое сопротивление материалов. – Саранск: Мордовский ун-т, 2001. – 195 с.

4. Туркова З.А. Микрофлора материалов на минеральной основе и вероятные механизмы их разрушения / З.А. Туркова // Микология и фитопатология. – М.: АН СССР, 1974. – Вып.3. – Т.8. – С. 219-226.

*Получено 05.03.2012*

УДК 425.182

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков*

## **ВНЕШНЕЕ АРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Приведены теоретические и экспериментальные исследования сталебетонных конструктивных элементов при разных способах приложения продольной нагрузки. Показана технико-экономическая эффективность применения таких конструкций в сравнении со стальными и железобетонными конструктивными элементами.

Наведено теоретичні й експериментальні дослідження сталебетонних конструктивних елементів при різних способах застосування поздовжнього навантаження. Показано техніко-економічну ефективність застосування таких конструкцій в порівнянні зі сталевими та залізобетонними конструктивними елементами.

A method of strength calculation of rectangular section of steel-concrete columns depending on the process of longitudinal loading has been developed. Theoretical and experimental data have been compared. Cite experiment and theoretical investigation steel concrete constructions depending on the process of longitudinal loading has been developed and method their calculation. There was executed the experimental and theoretical researches of the steel-concrete elements, working by center compression.

*Ключевые слова:* сталебетон, сталебетонный элемент, осевое сжатие, изгиб, внешнее армирование, бетонное ядро, стальная оболочка.

С развитием и применением эффективных способов соединений металлических элементов (электросварка, высокопрочные болты, синтетические клеи) значительно возрос интерес к использованию полосовой,