

Рис. 7. Поля приведенных напряжений (kN/m^2) по I теории прочности на лицевой стороне гипсокартонной облицовки подвесных потолков по системе D 112 Кнауф от действия собственного веса, временной нагрузки на ж/б перекрытия (прогиб $f=5\text{мм}$), при использовании ГКП 12,5 мм, CD 60 $t=0,6\text{ мм}$ (эталонный вариант)

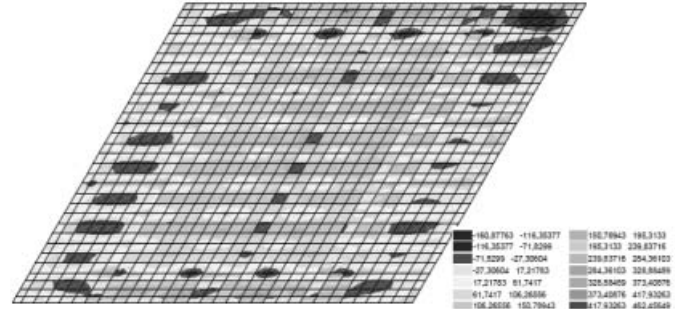


Рис. 8. Поля приведенных напряжений (kN/m^2) по I теории прочности на лицевой стороне гипсокартонной облицовки подвесных потолков по системе D 112 Кнауф от действия собственного веса, временной нагрузки на ж/б перекрытия (прогиб $f=5\text{мм}$), при использовании CD 60 $t=0,6\text{ мм}$, ГКП 12,5 мм закрепленного по периметру к UD (вариант с нарушением технологии монтажа)

Без проведения ряда мероприятий (увеличение количества крепежных элементов, уменьшение шага профилей, использования более прочного шовного и армирующего материала и т.д.) и при возникновении дополнительных силовых факторов (температурные перепады, реологические процессы и т.п.) это приведёт к достижению предела трещиностойкости стыков и дополнительным неучтенным прогибам и, как следствие, к потере эстетического вида, как основного критерия эксплуатационной пригодности подвесных потолков.

Выводы

1. Каркас подвесных потолков рассчитан на толщину CD профилей 0,6–10% мм, массовое применение строителями утоненных профилей без корректировок конструктивной схемы является грубым нарушением и влечет за собой снижение жесткости всей системы и, как следствие, дополнительные прогибы и прирост напряжений в ГК обшивке.

2. Использование для подшивки ГКП толщиной 9,5 мм взамен регламентируемой плиты 12,5 мм недопустимо, так как требует повторного изменения

шага несущих профилей, одновременно снижает прочность, трещиностойкость стыка и существенно увеличивает концентрацию напряжений в гипсокартонной облицовке, что приводит к нарушению нормальной эксплуатации подвесных гипсокартонных потолков и исчерпанию ресурса долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-2:2006 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".
2. Parameteridentifikation für KNAUF GKB-Platten, 12.5mm, projektnummer Knauf SWW08085, 01. Juli 2008.
3. Технические листы D11 «Гипсокартонные потолки фирмы Кнауф».
4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – Изд-во «Сталь». – К., 2002. – 606 с.
5. А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2007. – 394 с.
6. Циприанович И.В., Старченко А.Ю. Комплектные системы сухого строительства. – К.: Издательство ОАО Мастера, 1999 г. – 184 с.

УДК 691.311

Дворкін Л.Й., доктор техн. наук, професор;

Мироненко А.В., канд. техн. наук, доцент;

Поліщук-Герасимчук Т.О., канд. техн. наук, асистент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

СУХІ ГПСОВІ І ФОСФОГПСОВІ СУМІШІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕФЕКТИВНИХ МОДИФІКАТОРІВ

Усім відома концептуальна схема розвитку будівельного сектору «наука – виробництву». На основі наукових досліджень виникають ідеї, гіпотези, які перетворюються в теоретичні основи, що в подальшому, на практиці, впроваджуються у виробництво будівельних матеріалів. Особливу увагу науковців та виробників привертає одне із найстаріших мінеральних в'язучих – гіпсове. В Україні відомі численні родови-

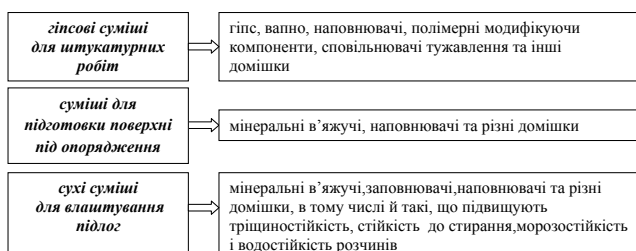
ща гіпсу – Писківське, Михайлівське, Артемівське та ін., тоді як у світі поклади цього матеріалу, осадового походження, є в Татарстані, північній Європейській частині Росії, Башкирії та на Кавказі, а найбільшими виробниками гіпсових в'язучих (ГВ) є США, Іран та Канада. В останні роки науково-технічні пріоритети розставленні так, що виготовлення ГВ пов'язане із використанням у якості сировини багатотоннажних

гіпсовміщуючих відходів на противагу природній сировині. Найбільший інтерес у виробництві ГВ представляє відхід хімічної промисловості – фосфогіпс (утворюється при одержанні фосфорної кислоти та фосфорних добрив). Фосфогіпс (ФГ) відрізняється від природного гіпсового каменю за зерновим та хімічним складом і властивостями. Як відомо [1; 2], в ньому міститься двоводний гіпс та домішки, в яких є сполуки фосфору (1,5–2 %). На сьогодні існує значний практичний досвід та накопичені результати наукових досліджень, що дозволяють використовувати різні технології отримання гіпсових в'язучих із фосфогіпсу в залежності від складу кінцевого продукту його переробки (отримання α - та β -напівгідратних в'язучих, ангідритових та ін.).

Номенклатура будівельних матеріалів на основі гіпсових в'язучих вирізняється своєю чисельністю та різноманітністю: гіпсокартонні та гіпсоволокнисті листи, плити, блоки, архітектурні деталі і декоративні вироби, а також сухі будівельні суміші та бетони. Застосування ГВ при виготовленні будівельних матеріалів обумовлено перш за все сукупністю їх позитивних властивостей: екологічність, відсутність усадочних деформацій, швидке зростання міцності, тепло- і звукоізоляційні властивості, вогнестійкість.

Провідне місце серед будівельних матеріалів на основі ГВ займають сухі будівельні суміші (СБС) модифіковані – однорідні силучі композиції оптимального складу, що вміщують точно віддозовані та перемішані сухі компоненти. У відповідності з діючими в Україні нормативними документами ДБН В.2.6–22–2001 «Конструкції будинків і споруд. Улаштування покриттів із застосуванням сухих будівельних сумішей» та ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови», сухі гіпсові суміші класифікують наступним чином: клейові; для заповнення швів; для штукатурних робіт; для підготовки поверхні під опорядження; для влаштування підлог.

Розглянемо загальні рецептури сухих будівельних сумішей модифікованих. Згідно ДБН В.2.6–22–2001 сухі суміші для штукатурних робіт, підготовки поверхні під опорядження та влаштування підлог містять в своєму складі наступні компоненти:



Тенденції сучасного сухого виробництва пов'язані із введенням до складу сухих сумішей спеціалізованих добавок, які ці суміші модифікують, а саме покращують технологічні та експлуатаційні властивості СБС [3]. Проте актуальним є не лише використання хімічних добавок при виготовленні модифікованих сухих сумішах, але й різноманітних наповнювачів, залучення в гідратаційні процеси новітніх активних мінеральних добавок, ефективних поверхнево-активних речовин та ін. [4].

Мета даної роботи полягала в наступному:

1. Розробити ефективний поліфункціональний модифікатор гіпсових систем на основі сучасних суперпластифікаторів і визначити можливості суттєвого збільшення міцності гіпсових та фосфогіпсових

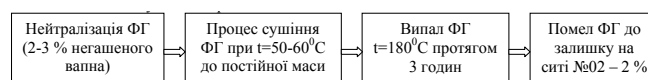
в'язучих (ФГВ) β -модифікації при його використанні.

2. Розробити склади високоякісних гіпсових СБС на основі модифікованих гіпсових та фосфогіпсових в'язучих з використанням дисперсного наповнювача – дигідратного фосфогіпсу.

Для досліджень використано відхід виробництва мінеральних добрив – фосфогіпс. Спостереження показали, що при багаторічному витримуванні фосфогіпсу у відвалах суттєво знижується вміст водорозчинних кислотних домішок. Кількість водорозчинного P_2O_5 у відвальному фосфогіпсі ПАТ „Рівнеазот” в 10 разів менше, ніж у свіжому. Згідно ДСТУ Б В.2.7-2-93 „Фосфогіпс кондиційний для виробництва гіпсового в'язучого та штучного гіпсового каменя” відвальний фосфогіпс ПАТ „Рівнеазот” можна віднести до кондиційного ФГ в якому вміст:

- сульфату кальцію, не менше 90 %;
- загальний вміст фосфатів (в перерахунку на P_2O_5), не більше 1,5 %;
- водорозчинних фосфатів (в перерахунку на P_2O_5), не більше 0,15 %;
- вміст фторидів (в перерахунку на F), не більше 0,4 %.

Для виготовлення фосфогіпсового в'язучого вибрана технологічна схема, яка складається з наступних операцій:



За такою схемою отримано ФГВ з міцністю 1,5–2 МПа у віці 2 год., при стандартній консистенції (180±5 мм по Суттарду), при цьому водопотреба фосфогіпсового в'язучого становить 85–90 %. Відомо, що ефективним способом зниження водопотреби та підвищення міцності гіпсових і, в тому числі, фосфогіпсових в'язучих є введення до їх складу добавок-суперпластифікаторів.

Проте сучасні суперпластифікатори (С-3, Дунатон, Melflux) за пластифікуючою дією [5] призначені, переважно, для використання в цементних системах – бетонах та розчинах. Введення таких добавок в гіпсові в'язучі виявилось малоефективним [6]. Добавки нового покоління типу Melment, які широко рекламуються як розріджувачі гіпсу, а також суперпластифікатори на основі поліакрилатних і полікарбоксилатних полімерів [7] також не показали високої ефективності у гіпсовому розчині.

Як відомо, всі вищевказані пластифікатори ефективно працюють в цементних бетонах в умовах лужного середовища цементного тіста, яке створюється $Ca(OH)_2$, що виділяється при гідратації цементу [8]. Виходячи з цих міркувань запропоновано змішувати гіперпластифікатори на основі поліакрилатних або полікарбоксилатних полімерів з вапном у оптимальному співвідношенні, що дозволяє різко знизити водопотребу гіпсового в'язучого β -модифікації.

Авторами розроблено комплексний модифікатор гіпсових та фосфогіпсових систем, який складається з гіперпластифікаторів поліакрилатного (Дунатон) або полікарбоксилатного (Melflux) типу та вапна гашеного. Модифіковані гіпсові та фосфогіпсові в'язучі виготовлені шляхом помелу в кульовому млині будівельного гіпсу (Г-5) або фосфогіпсу (1,5–2 МПа), суперпластифікатору (Melflux 1641F або Melflux 2651F, або Дунатон SP3) та вапна, взятих у оптимальному співвідношенні.

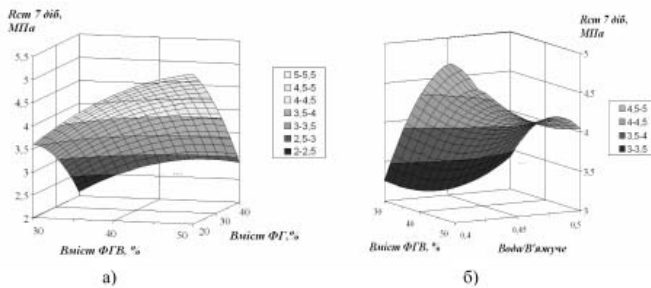


Рис. 1. Залежності міцності на стиск штукатурних розчинів з дисперсним наповнювачем фосфогіпсом (Rст 7 діб, МПа) від: а) вмісту модифікованого ФГВ (%); б) водопотреби (вода/в'язуче)

Дослідженнями встановлено, що комплексні модифікатори у складі гашене вапно + добавки-суперпластифікатори І-ї групи на основі поліакрилатів (Dynamon SP3) або полікарбоксилатів (Melflux 1641F або Melflux 2651F) є ефективними гіперпластифікаторами гіпсу, які дозволяють зменшити водопотребу гіпсового розчину до $V/G=0,31...0,35$ і збільшити міцність гіпсового каменю від 5...6 до 12...18 МПа, тобто отримати із рядового низкоміцного гіпсу β -модифікації високоміцне в'язуче, міцність якого наближається до міцності гіпсу α -модифікації.

На основі отриманих модифікованих гіпсового і фосфогіпсового в'язучих виготовлено сухі будівельні суміші для штукатурних робіт, підготовки поверхні під опорядження та влаштування підлог. Розглянемо детальніше запропоновані композиції сухих гіпсових сумішей та їх основні властивості.

СБС для штукатурних робіт. З метою визначення технологічних параметрів штукатурних розчинів, виконано алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом В4 [9]. Вивчено вплив наступних технологічних факторів: модифікованого фосфогіпсового в'язучого (x_1) 40 ± 10 % від маси суміші; нейтралізованого та висушеного фосфогіпсу-дигідрату, який виконує роль дисперсного наповнювача СБС (x_2) 30 ± 10 %; ефіру целюлози Tylose (x_3) $0,05 \pm 0,05$ % та водов'язучого відношення (x_4) $0,45 \pm 0,05$. Крім того, в штукатурну суміш введено дрібний заповнювач – кварцовий пісок ($P=100\%-x_1-x_2-x_3$) крупністю до 0,63 мм згідно з ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006, а в якості сповільнювача строків тужавлення – класичну добавку – лимонну кислоту (0,1 %).

В результаті експериментальних досліджень отримані рівняння регресії міцності на згин та стиск штукатурних розчинів у віці 7 діб (табл. 1), а також побудовано графічні залежності (рис. 1).

Встановлено, що при виготовленні опоряджувальних сухих сумішей на основі модифікованого ФГВ ефективним є застосування в якості наповнювача нейтралізованого та висушеного ФГ в кількості не більше 20 % з метою економії та здешевлення СБС, при цьому водов'язуче відношення становить 0,4, а міцність на стиск у віці 7 діб досягає 4...5,2 МПа,

Таблиця 1

Рівняння регресії міцності штукатурних розчинів на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого з фосфогіпсовим наповнювачем

Вихідні параметри	Рівняння регресії
Міцність на згин у віці 7 діб, МПа	$R_{zr}^{7 діб} = 2,19 + 0,26 x_1 - 0,34 x_2 - 0,09 x_3 - 0,33 x_4 - 0,05 x_1^2 + 0,02 x_2^2 + 0,02 x_3^2 - 0,05 x_4^2$
Міцність на стиск у віці 7 діб, МПа	$R_{st}^{7 діб} = 3,98 + 0,61 x_1 - 0,97 x_2 - 0,21 x_3 - 0,82 x_4 - 0,3 x_1^2 - 0,23 x_2^2 + 0,26 x_3^2 - 0,28 x_4^2$

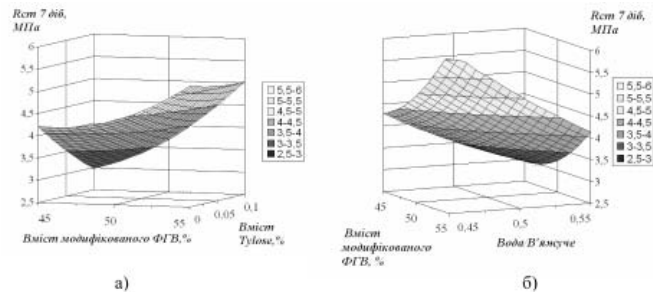


Рис. 2. Залежність міцності на стиск шпаклювальних сумішей з дисперсним наповнювачем фосфогіпсом (Rст 7 діб, МПа) від: а) вмісту модифікованого фосфогіпсового в'язучого (%); б) водопотреби

живучість таких розчинів – 30–40 хв. Рухомість розчинів складає 8...10 см. Визначення адгезійної міцності штукатурних розчинів до основ (бетону, цегли) проведено з використанням розривної машини FP 100/1. Результати досліджень свідчать про те, що ця величина знаходиться в межах 0,9...1,3 МПа.

Запропоновані складі СБС для опоряджувальних будівельних розчинів на основі ФГВ з комплексною добавкою полікарбоксилат+вапно та дисперсним наповнювачем у вигляді попередньо нейтралізованого та висушеного ФГ, за всіма основними показниками, відповідають вимогам ДБН В.2.6-22-2001 (група Ш2) та ДСТУ-П Б В.2.7-126:2008 (група ШТ-1).

СБС для підготовки поверхні під опорядження. В якості дисперсного наповнювача для приготування шпаклівок на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого використано, як і в попередньому випадку, нейтралізований вапном (3 %) сухий фосфогіпс.

Для визначення технологічних параметрів шпаклівок на основі модифікованого ФГВ, виконано алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом В3 [9]. Варійовано фактори: вміст фосфогіпсового в'язучого в суміші (x_1) 50 ± 5 %; кількість ефіру целюлози складала (x_2) $0,05 \pm 0,05$ % та водо-тверде відношення (x_3) – $0,45 \pm 0,05$. Витрата полікарбоксилатного суперпластифікатора Melflux визначалась як 0,6 % для модифікованого фосфогіпсового в'язучого і 0,6% для інших компонентів, переважно наповнювача фосфогіпсу. Для приготування фосфогіпсової шпаклювальної суміші додатково введено сповільнювач тужавлення – лимонну кислоту (0,1 %). Вміст дисперсного наповнювача визначено як $FG=100\%-x_1-x_2$.

На основі експериментальних даних в заданому інтервалі змін кількості компонентів отримано регресійні рівняння (табл. 2) міцності на стиск та згин у віці 7 діб твердіння шпаклювальних розчинів на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого із фосфогіпсовим наповнювачем та побудовано графічні залежності (рис. 2).

Експериментальні дослідження показали, що для досягнення максимальної міцності шпаклювальних розчинів модифікованого комплексною добавкою полікарбоксилат+вапно, 44 % фосфогіпсового наповнювача, 0,6 % від маси ФГ добавки гіперпластифікатора Melflux

Таблиця 2

Рівняння регресії міцності шпаклювальних розчинів на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого із фосфогіпсовим наповнювачем

Вихідні параметри	Рівняння регресії
Міцність на згин у віці 7 діб, МПа	$R_{zr}^{7 діб} = 1,96 + 0,19 x_1 - 0,1 x_2 - 0,26 x_3 + 0,05 x_1^2 + 0,34 x_2^2 - 0,21 x_3^2$
Міцність на стиск у віці 7 діб, МПа	$R_{st}^{7 діб} = 3,32 + 0,64 x_1 - 1,29 x_2 - 0,71 x_3 - 0,27 x_1^2 + 0,05 x_2^2 + 0,08 x_3^2$

Таблиця 3

Умови планування експерименту

Параметр	Фактор	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
Пісок /модифіковане ГВ	x_1	0,7	1	1,3	0,3
Вміст ПЦ, %	x_2	5	10	15	5
Вміст золи-виносу, %	x_3	5	15	25	10
Вміст Tylose, %	x_4	0	0,03	0,06	0,03
Водов'язуче відношення	x_5	0,45	0,50	0,55	0,05

1641 F, 0,05 % ефіру целюлози Tylose від маси ФГВ для контролювання його водоутримуючої здатності, а для регулювання строків тужавлення – лимонну кислоту в кількості 0,1 % від маси ФГВ, при цьому водотверде відношення становить 0,4, при цьому значення міцності на стиск – 4,5...5 МПа. Термін придатності розчину для підготовки поверхні під опорядження – 30–40 хв. Запропоновані шпаклювальні розчини за їх основними властивостями можна віднести до групи С1 за ДБН В.2.6-22-2001 та ШГ1 за ДСТУ-П Б В.2.7-126:2008.

СБС для влаштування підлог. На основі розроблених високоміцного гіпсового і фосфогіпсового в'язучих виготовлено самонівельовані суміші для покриття підлог. Особливістю таких розчинів гіпсових підлог є швидкий набір міцності, що дозволяє експлуатувати їх відразу після вкладання на відміну від цементних композицій для підлог. Згідно діючих нормативних документів, до підлог ставляться високі вимоги щодо їх міцності – 15...35 МПа, при цьому розтічність розчину повинна бути не менше 17 см.

Для вибору технологічних параметрів виготовлення сухих будівельних сумішей для влаштування підлог, виконано алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом На5 [9]. Умови планування експерименту наведені в табл. 3

Запропоновані гіпсові суміші для влаштування покриттів підлог виготовлено шляхом механічного змішування в кульовому млині наступних компонентів: модифікованого ГВ (будівельного гіпсу марки Г-5, гашеного будівельного вапна, суперпластифікатора Melflux 1641 F), портландцементу М500 (ПЦ), добавки ефіру целюлози, сповільнювача тужавлення – лимонної кислоти, дисперсного наповнювача – золи-виносу, заповнювача – кварцового піску.

Вибір компонентів для виготовлення наливних підлог пояснюється необхідністю забезпечення швидкого зростання міцності в початковий період твердіння за рахунок дії гіпсового в'язучого (або фосфогіпсового) і суперпластифікатора Melflux, а в більш пізньому віці (14–28 діб) – процесів структуроутворення при твердінні портландцементу та золи-виносу, а також для забезпечення водостійкості високоміцних гіпсових композицій.

На основі експериментальних даних отримано адекватні рівняння регресії, які характеризують вплив досліджуваних факторів на міцність зразків при стиску (Rст) для наливних гіпсових підлог з використанням золи виносу ТЕС та графічні залежності (рис. 3).

Згідно отриманих даних, встановлено, що макси-

Таблиця 4

Рівняння регресії міцності високоміцних гіпсових розчинів для самонівельованих наливних підлог з добавкою золи-виносу

Вихідні параметри	Рівняння регресії
Міцність на стиск у віці 1 доба, МПа	$R_{cm}^{1 доба} = 3,9 - 0,86 x_1 + 0,15 x_2 + 0,26 x_3 - 0,13 x_4 - 0,27 x_5 - 0,09 x_1^2 - 0,07 x_2^2 - 0,06 x_3^2 + 0,01 x_4^2 + 0,24 x_5^2$
Міцність на стиск у віці 3 доби, МПа	$R_{cm}^{3 доби} = 6,6 - 1,42 x_1 + 0,27 x_2 + 0,42 x_3 - 0,21 x_4 - 0,45 x_5 - 0,14 x_1^2 - 0,13 x_2^2 - 0,11 x_3^2 + 0,02 x_4^2 + 0,37 x_5^2$
Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	$R_{cm}^{28 діб} = 11,55 - 2,55 x_1 + 0,41 x_2 + 0,78 x_3 - 0,34 x_4 - 0,83 x_5 - 0,26 x_1^2 - 0,23 x_2^2 - 0,20 x_3^2 - 0,03 x_4^2 + 0,66 x_5^2$

мальна міцність розчинів для покриття підлог за першу добу твердіння досягає 4,2 МПа, у 3 доби – понад 10 МПа і в 28 діб – до 17 МПа, при цьому термін придатності становить 30–45 хв, а роцтічність 180–200 мм. Розчини самонівельованих наливних підлог на основі ГВ з комплексною добавкою гіперпластифікатор+вапно гашене за основними показниками (рухливістю, терміном придатності, міцністю, адгезією та ін.) можна віднести до групи П1 та П2 за ДБН В.2.6–22–2001 та групи СТ1 за ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий, П.В. Классен, А. А. Новиков [и др.]. – М.: Химия, 1990. – 224 с.
2. Гордашевский П.Ф. Производство гипсовых вяжущих из гипсосодержащих отходов / П.Ф. Гордашевский, А.В. Долгарев. – М.: Стройиздат, 1983. – 360 с.
3. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали/ [Захарченко П.В., Долгий Е.М та ін.] – К.: 2005. – 511 с.
4. Чистов Ю. Д. Роль и значение прогрессивных технологий в стройиндустрии при решении задач национальной программы жилищного строительства/ Ю. Д. Чистов // Сухие строительные смеси. – 2008. – № 2. – С. 71–73.
5. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы/ Л. И. Касторных. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007 – 224 с. – (Учебно-справочное пособие. 2-е изд.).
6. Ферронская А. В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / Ферронская А. В. – Москва: Издательство ассоциации строительных вузов, 2004. – 485 с. – (Справочник).
7. Василик П.Г. Особенности применения поликарбоксилат-ных гиперпластификаторов Melflux / П. Г. Василик, И. В. Голубев // Строительные материалы. – 2003. – №9. – С. 24.
8. Нестаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах / Г. В. Нестаев // Строительные материалы. – 2006. – №10. – С. 23–25.
9. Рекомендация по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. – М.: НИИЖБ, 1982. – 97 с.