

**Одеська державна академія будівництва та архітектури
Технічний університет Молдови**



МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПЗИТІВ

Матеріали міжнародного семінару

Одеса, 3-4 грудня 2020

MODELLING AND OPTIMIZATION OF BUILDING COMPOSITES

Proceedings of International Seminar

Odessa, December 3-4, 2020

УДК 004.942:691

Рекомендовано до друку Вченою Радою
Одеської державної академії будівництва та архітектури
(протокол №4 від 26 листопада 2020 р.)

Моделювання та оптимізація будівельних композитів : мат-ли міжнарод. сем.
Одеса: ОДАБА, 2020. 145 с.

Редакційна колегія: Суханов В.Г., д.т.н., проф.; Хлицов М.В., к.т.н., доц.; Барабаш І.В., д.т.н., проф.; Вировой В.М., д.т.н., проф.; Керш В.Я., к.т.н., проф.; Лященко Т.В., д.т.н., проф.; Шинкевич. О.С., д.т.н., проф.; Русу І.В., д.т.н., проф.

Відповідальна за випуск: Антонюк Н.Р., к.т.н., доц.

Міжнародний семінар з моделювання та оптимізації будівельних композитів (**МОБК**) продовжує традицію кафедри процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів. З моменту заснування кафедрою керував заслужений діяч науки і техніки, д.т.н., професор В.А. Вознесенський. Віталій Анатолійович створив та очолював Раду з комп'ютерного матеріалознавства при Міжнародній інженерній академії. Під його керівництвом з 1996 по 2008 рік в Одеському домі вчених проводились міжнародні семінари з моделювання та оптимізації композитів (МОК'35-47). Семінар цього року присвячено 90-річчю академії. Матеріали **МОБК** 2020 р. охоплюють питання застосування експериментально-статистичних та інших моделей в будівельному матеріалознавстві, включаючи елементи комп'ютерного матеріалознавства. Оргкомітет (**patsm@ukr.net**) не завжди поділяє думку авторів.

Международный семинар по моделированию и оптимизации строительных композитов (**МОСК**) продолжает традицию кафедры процессов и аппаратов в технологии строительных материалов. С момента основания кафедрой руководил заслуженный деятель науки и техники, д.т.н., профессор В.А. Вознесенский (1934-2012). Виталий Анатольевич создал и возглавлял Совет по компьютерному материаловедению при Международной инженерной академии. Под его руководством с 1996 по 2008 год в Одесском доме ученых проводились международные семинары по моделированию и оптимизации композитов (МОК'35-47). Семинар этого года посвящен 90-летию академии. Материалы **МОСК** 2020 г. охватывают вопросы применения экспериментально-статистических и других моделей в строительном материаловедении, включая элементы компьютерного материаловедения. Оргкомитет (**patsm@ukr.net**) не всегда разделяет мнение авторов.

International Seminar *Modelling and Optimization of Building Composites (MOBC)* continues the tradition of the Department of Chemical Engineering at Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. The head of the department (and its founder) Professor V.A. Voznesensky (1934-2012), D.Sc., honoured scientist, had organized and headed the Scientific Council on Computational Materials Science at International Academy of Engineering. Under his leadership the International Seminars on Modelling and Optimization of Composites (MOC'35-47) were conducted in 1996-2008, in Odessa House of Scientists. The seminar of 2020 is dedicated to the 90th anniversary of the Academy. The Proceedings of the present seminar cover the issues of using experimental-statistical and other models in building materials science, including the elements of computational materials science. Opinions of Organizing Committee may differ from those of the authors.

ISBN 978-617-7195-29-9

© Одеська державна академія
будівництва та архітектури, 2020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ КАТАКОМБ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В Г. ОДЕССА

Афанасьев Б.А., Хлыцов Н.В.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Abstract. *The possibility of using geothermal heat and its removal by means of air ducts in underground workings - catacombs, with the use of heat pumps, as well as directly for heat supply systems on the example of Odessa is considered.*

Keywords: *air heat pump, geothermal heat, catacombs, heating.*

Введение. Применение тепловых насосов, как стабильного возобновляемого источника энергии (ВИЭ), наиболее эффективно при использовании теплоты грунта. Установки с грунтовыми теплообменниками имеют очень большую стоимость и практически не окупаются.

В результате многолетних наблюдений за температурой воздуха, движущегося по протяженным вентиляционным маршрутам горных выработок, отечественные и зарубежные исследователи установили, что воздух нагревается до температуры окружающего массива [1].

Расположенные в Одессе и ее окрестностях катакомбы имеют очень большую и разветвленную сеть с огромной контактной поверхностью, что позволяет эффективно получать тепло от грунта с показателями, соответствующими уровню теплонасосных систем, использующих грунтовые теплообменники, но намного дешевле.

Интенсивная застройка в последнее время города требует обеспечения теплоснабжения зданий в условиях предельной изношенности и загруженности существующих тепловых сетей. В результате происходит, так называемая, децентрализация города, которая в конечном счете, делает тепловую энергию гораздо более дорогим продуктом, используемым на нужды отопления, вентиляции и ГВС. Использование традиционных источников тепла приводит к экологическому загрязнению рекреационных зон, а прямое использование электричества для обогрева в настоящее время

нерентабельно.

Воздушные каналы-теплообменники, или катакомбы в грунте, можно рассматривать как аналоги обычным жидкостным змеевикам. Температура воздуха в катакомбах на глубине более 10м соответствует температуре грунта- 12...14°C, а сами катакомбы могут быть «естественными» воздушными каналами-теплообменниками грунт-воздух. Сезонные колебания температуры на такой глубине отсутствуют, температура почвы практически неизменна.

Постоянство температуры подземных выработок может быть сохранено в течение десятилетий соблюдением теплового баланса между теплотой, поступающей из недр, и отбираемой теплотой для потребителя. Помимо геотермального тепла подземные выработки могут прогреваться за счет тепла кондиционирования и теплого воздуха в летний период. Следует отметить, что вентиляция и осушение катакомб повышают прочность ракушечника, и соответственно, подземных выработок и в целом грунта.

Возможны основные варианты применения:

- создание циркуляции воздуха в определенном пространстве катакомб и установка теплового насоса или его части в пространстве катакомб;
- отбор воздуха из катакомб наружу и внешняя установка теплового насоса.

Общая схема использования подземных выработок приведена на рис. 1.

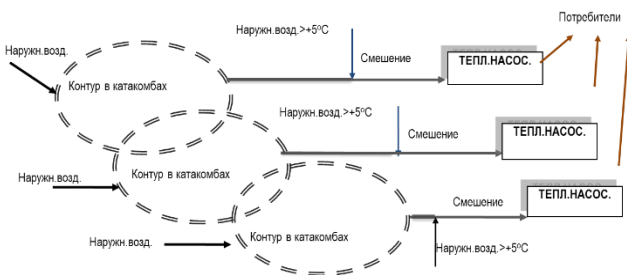


Рис. 1. Схема геотермального теплообменника в катакомбах

При этом конфигурация сети каналов может иметь самую разнообразную схему: последовательную, параллельную, комбинированную и с рециркуляцией. Она должна обеспечивать нагрев проходящего воздуха до температуры окружающих пород. Сеть каналов может быть, как естественной, так и создаваться с

помощью вентиляционных каналов и перемычек. Производя переключение потоков, можно обеспечить восстановление температуры поверхности воздушных каналов теплообменника, увеличивая продолжительность его функционирования.

Оценочный расчет был произведен для одного из объектов застройки на территории г. Одессы под Французским бульваром, с развитой системой катакомб на глубине около 35м [2]. План трассировки катакомб приведен ниже.

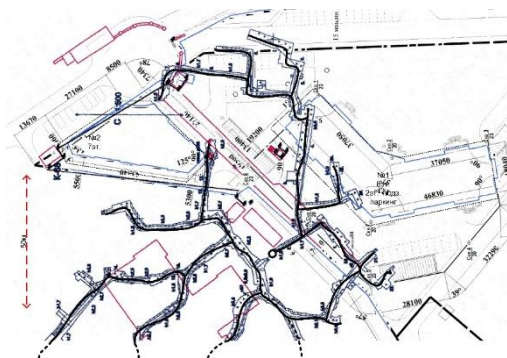


Рис. 2. Схема катакомб на участке застройки

Предполагались следующие режимы работы:

- возобновляемый источник теплоты (ВИЭ) - постоянным источником теплоты является геотермальное тепло с учетом свойств грунта;
- с подмешиванием наружного воздуха: при его температуре больше $+5^{\circ}\text{C}$, он добавляется к воздуху из катакомб;
- дополнительной аккумуляции теплоты в грунте от теплого воздуха летом при обратной циркуляции наружного воздуха или его рециркуляции.

Расчетная оценка возможности обеспечения теплом от катакомб:

Общая длина катакомб на выделенной территории	600м
Средний размер сечения	3м х3м
Поверхность стен катакомб	5400м ²
Мощность ВИЭ катакомб - только геотермальное тепло	110...200 кВт
Мощность ВИЭ катакомб с использованием наружного воздуха при температуре $> +5^{\circ}\text{C}$	200...400 кВт
Мощность ВИЭ катакомб с использованием наружного воздуха при температуре $> +5^{\circ}\text{C}$ и аккумуляцией теплоты в грунте летом	400...550 кВт

Более детальный анализ возможностей использования катакомб в качестве источника ВИЭ выполнен для катакомб с отличной от предыдущего объекта сетью каналов и глубин в г. Одесса под ул. Градоначальницкой.

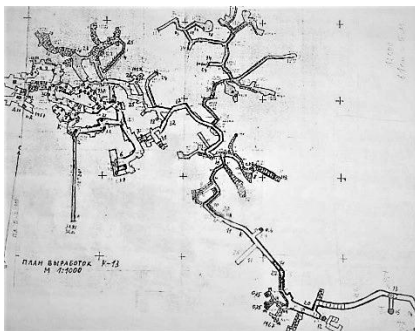


Рис. 3. Схема катакомб

Геометрические параметры были известны, т.к. катакомбы ранее подготовлены под бомбоубежище. Всего выбраны 50 участков равных по геометрии и определены условия теплообмена.

Оценка получения возможной мощности теплового потока была сделана по принципу суперпозиций:

- ограничений расчетной теплоотдачи от стенок грунтовых каналов при вынужденной конвекции, как $\Theta_{\alpha} = \alpha \Delta T \text{ М, кВт}$;

- по расходу воздушного потока и его массовой теплоемкости, как $\Theta_{\nu} = X_{\pi} \Delta T \text{ М}$. Расчет сделан для предпочтительного диапазона скоростей воздуха в диапазоне 0,5...2 м/с. Используются известные зависимости для теплоотдачи с учетом режима течения, чисел Re и Nu и [3]. Результаты приведены на рис. 4.

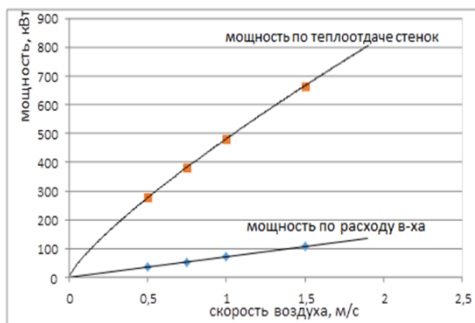


Рис. 4. Зависимость мощности локальной сети катакомб от теплоотдачи со стенок и от расхода воздуха в каналах

Как видно на рис. 4, ограничения мощности в выбранных каналах определяются, в основном, допустимой скоростью циркуляции воздуха и его массового расхода.

В ряде конкретных случаев применение тепловых насосов (ТН) воздух-вода, воздух-воздух с использованием теплоты катакомб позволяет существенно снизить затраты на отопление зданий. Результаты расчета приведены на рис. 5.

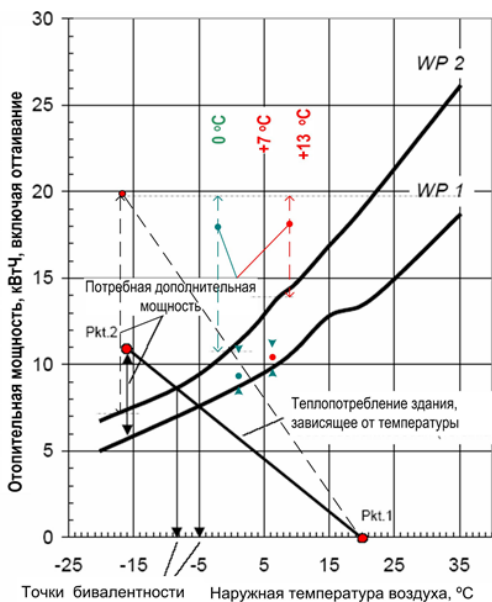


Рис. 5. Точки бивалентности при подборе ТН воздух-вода и изменение характеристик при использовании тепла катакомб

Представляет интерес распределение температур в толще массива ракушечника для оценки изменения температурного фронта и определения глубины теплоотвода от стенок каналов. Для моделирования процесса распределения температур была построена 3D упрощенная модель фрагмента катакомб. Построение модели и расчет температурных полей проводился в программе SolidWorks Simulation Xpress. На рисунке 6 показан пример конечно-элементной сетки исследованной модели массива ракушечника с использованием генератора конечных элементов сетки.

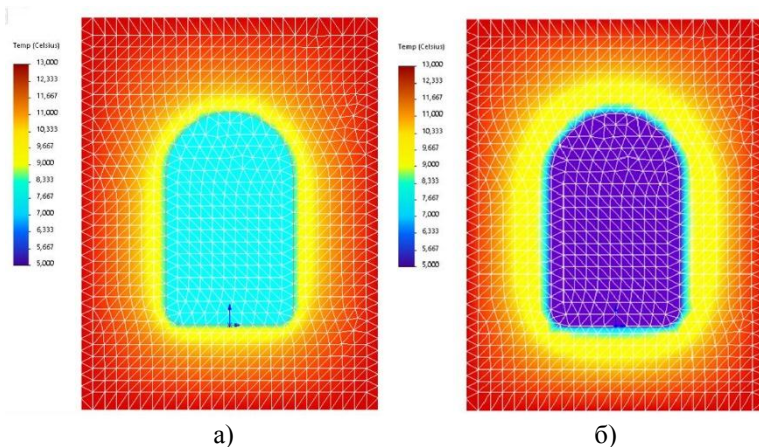


Рис. 6. Распределение температур в массиве для различных температур воздуха а) – 8°C, б) – 5°C

В качестве текучей среды выбран воздух без учета его влажности. Заданы температурно-физические зависимости и тепловые свойства материалов построенной 3D модели для различных температурных значений воздушных потоков, используемых тепловыми насосами, коэффициенты конвективной теплоотдачи и температуропроводности, удельная теплоемкость, плотность и другие.

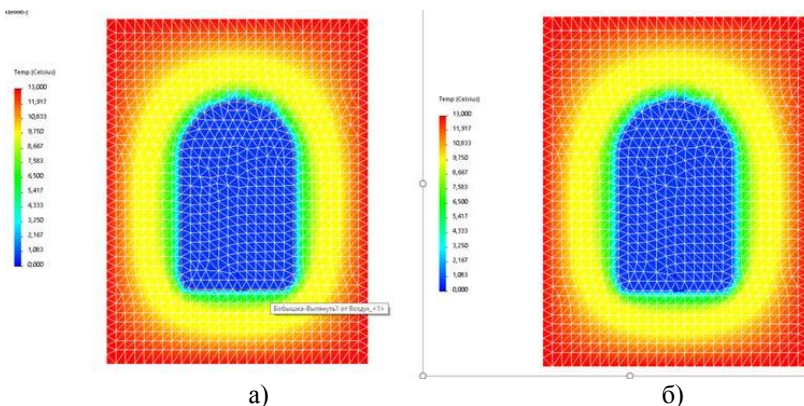


Рис. 7. Распределение температур в массиве для различных коэффициентов конвективной теплоотдачи а) – $\alpha = 10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 / \text{К}$, б) – $\alpha = 6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 / \text{К}$

Граничные условия на стенках в первом варианте приняты при условиях, что снаружи находится среда с температурой 8°C , к которой материал стенки взаимодействует с коэффициентом теплоотдачи $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, что соответствует слабо развитой естественной конвекции [3]; для внешних стенок принимаем, что теплообмен излучением отсутствует; для внутренних стенок и других поверхностей принимаем коэффициент излучательной способности $0,82$. Во втором варианте принято, что снаружи находится среда с температурой 5°C . Начальные условия, в данном случае, представляют собой исходное приближение, с которого начинается итерационный процесс поиска решения, оставались без изменений.

Из рис. 6 следует, что и фронт изменения температурного поля при разной температуре воздуха в канале в толще стенок канала соизмерим с его размерами и вероятным отсутствием влияния соседних каналов при их реальном взаимном расположении. Аналогично и слабое влияние коэффициентов теплоотдачи от воздуха к стенке видно на рис. 7. Обращает внимание значительный температурный градиент в стенках воздушных каналов.

Таким образом, проведенное моделирование теплообменных процессов в катакомбах показало эффективность применения предлагаемого решения для использования геотермального тепла и его отвода с помощью воздушных каналов катакомб в системах отопления с использованием тепловых насосов.

Выводы. Показана перспективность использования геотермальной теплоты в катакомбах и основные варианты практического применения для теплоснабжения в центральной и других частях города с целью повышения энергоэффективности, улучшения экологии и прочности грунта под Одессой. Для разработки проектных решений необходимы дальнейшие расчетно-аналитические исследования в полном объеме температур, возможных режимов работы с привязкой к конкретным объектам, из-за нерегулярности параметров исходных условий. И особенно актуален расчетный анализ в нестационарных условиях сезонного охлаждения-нагрева грунта катакомб.

1. Венгеров И.Р. Определение эффективности шахтного геотермального теплообменника. Вісті Донецького гірничого інституту, 2007, № 2, с. 86-89.

2. Афанасьев Б.А., Хлыцов Н.В. Использование теплоты катакомб и дренажных вод Французского б-ра для теплоснабжения в г. Одессе // Конференція «Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві». – Одеса. - 3 квітня 2012.

3. Teplofizicheskiye raschety narodnogo khozyaystva, razmeshchayemykh v gornykh vyrabotkakh / In-t tekhn. teplofiziki AN USSR. Leningr. gornyy in-t im. G.V. Plekhanova. - M.: Stroyizdat, 1989. - 80 p.: il. - (Sprav. Posobiye k SNIP).

ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИДНОГО ЗВ'ЯЗУЮЧОГО ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІЖМОЛЕКУЛЯРНИХ ВЗАЄМОДІЙ

Барабаш О.С., Попов Ю.В., Данченко Ю.М., Бадай Л.Р.

(Харківський національний університет будівництва та архітектури)

Abstract. The aim of this paper is to evaluate the degree of intermolecular interaction of the surfactant and epoxy oligomer ED-20 molecules and to establish regularities of the influence of this interaction on the rheological properties of the epoxy binder.

Keywords: intermolecular interaction, viscosity, wetting ability, epoxy binder, surfactant.

Якісне просочення наповнювача зв'язуючим є однією з основних стадій технологічного процесу виготовлення наповнених пластиків, що визначає якість кінцевого виробу. Орієнтовно глибину просочення l за час t можна визначити за рівнянням [1]):

$$\frac{l}{t} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot \sigma \cdot \cos\theta \cdot r}{\eta}}$$

де σ - поверхневий натяг зв'язуючого; θ - крайовий кут змочування; r - радіус пор; η - в'язкість зв'язуючого.

Як видно з рівняння, для забезпечення якісного просочення наповнювача і зменшення часу просочення, зв'язуюче має добре змочувати поверхню наповнювача з утворенням менших кутів змочування, володіти низьким поверхневим натягом і невисокою в'язкістю.

Епоксидіанові олігомери відносяться до високов'язких асоційованих рідин [2]. Відомо, що підвищена в'язкість епоксидіанових олігомерів визначається рівнем міжмолекулярних взаємодій наявних в молекулах таких полярних груп, як гідроксильні (можливість утворення водневих зв'язків), епоксидні і прості ефірні (диполь-дипольні взаємодії), а також бензольні ядра (π - π взаємодії) [3, 4]. Тому для зниження в'язкості і покращення змочувальної здатності епоксидних зв'язуючих широко

застосовуються поверхнево-активні речовини (ПАР) та кремнійорганічні сполуки (КОС) (98,143 дис).

Для оцінки ефективності впливу ПАР і КОС на технологічні властивості епосизв'язуючих запропоновано використання методу комп'ютерного моделювання та квантово-хімічних розрахунків, який визначає енергію міжмолекулярних взаємодій зв'язуючого з модифікуючи ми домішками.

В якості модельних об'єктів дослідження обрано епоксидний олігомер марки ЕД-20. В якості ПАР обрані: катіоноактивні (КПАР) алкілтриметиламоній хлорид (АМА) і цетриамоній хлорид (ЦТАХ), аніоноактивний (АПАР) лауретсульфат натрію (ЛТС), кремнійорганічна сполука α , ω -біс (триметилсилокси)-олігодиметилсилоксани ПМС-400.

Визначення міжмолекулярних взаємодій (ММВ) епоксидного олігомеру з модифікуючими добавками здійснювалось методом напівемпіричного розрахунку РМЗ [5] за допомогою програмного пакету NucleChem для комп'ютерного моделювання. Побудовано тривимірні моделі міжмолекулярних комплексів и отримані такі характеристики, як ентальпія утворення $\Delta H_{утв}$ і енергія взаємодії $E_{взаєм}$ окремих сполук и міжмолекулярних комплексів.

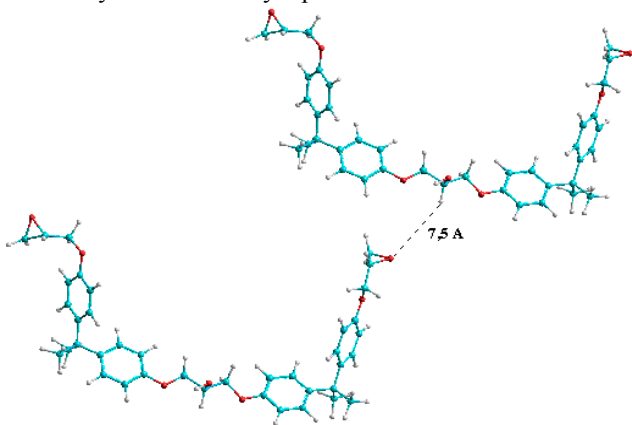


Рис. 1. Модель міжмолекулярного комплексу ЕД-20.

З рис. 1 можна побачити, що між собою молекули епоксидного олігомеру орієнтуються епоксидною групою однієї молекули до гідроксильної групи іншої молекули, а енергія міжмолекулярних зв'язків епоксидного олігомеру має досить високе значення і становить 65,58 кДж/моль, що свідчить про утворення між ними сильного

водневого зв'язку, який, в свою чергу, може обумовлювати високу в'язкість і досить великий поверхневий натяг епоксидного олігомеру.

Енергія взаємодії комплексів ($E_{\text{взаєм}}$) ЕД-20 + модифікатор (АВ) визначалась за різницею між теплою утворення комплексу ($\Delta H_{\text{утв АВ}}$) і теплою утворення простих речовин ЕД-20 – А ($\Delta H_{\text{утв А}}$) і модифікатора – В ($\Delta H_{\text{утв В}}$):

$$A + B = AB, \quad (1)$$

$$E_{\text{взаєм}} = \Delta H_{\text{утв АВ}} - (\Delta H_{\text{утв А}} + \Delta H_{\text{утв В}}).$$

Для оцінювання можливості прогнозування технологічних властивостей зв'язуючих за допомогою комп'ютерного моделювання провели дослідження динамічної в'язкості [6] та змочувальної здатності [7] модифікованих епоксидних зв'язуючих. Визначені енергії взаємодії добавок із ЕД-20 ($E_{\text{взаєм}}$) за результатами моделювання вихідних молекул і міжмолекулярних комплексів, а також значення ньютонівської в'язкості η_0 та кута змочування сталі θ модифікованих зв'язуючих представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Добавка	$E_{\text{взаєм}},$ кДж/моль	$\eta_0,$ Па·с	$\theta,$ град
ЕД-20	65,58	8,5	72
ЕД-20+АМА	-11,83	4,0	34
ЕД-20+ЦТАХ	-11,04	4,0	30
ЕД-20+ЛТС	-5,43	5,3	24
ЕД-20+ПМС-400	-0,83	6,3	20

З представленої таблиці видно чіткий взаємозв'язок технологічних властивостей зв'язуючого із міжмолекулярними взаємодіями між ЕД-20 та модифікуючими домішками.

Енергії взаємодії між ЦТАХ і ЕД-20, а також між АМА і ЕД-20 мають майже однакові значення і становлять -11,04 кДж/моль та -11,83 кДж/моль відповідно. Такі дані енергії зв'язку говорять про наявність дальнюдіючих орієнтаційних сил, які можуть виникати між атомами Хлору в молекулах КПАР і Водню в молекулі ЕД-20. Зазвичай такі сили є слабкими і залежать від в'язкості речовини, і, так як в'язкість епоксидного олігомеру досить висока, то дані взаємодії бімолекулярного комплексу говорять про те, що ЦТАХ, так само як і АМА сильно впливають на структурну організацію епоксидного зв'язуючого, на структуру і як видно з табл.1 найбільш ефективно знижують в'язкість

ЕД-20. Тому використання даних добавок найбільш ефективно для полегшення процесу просочення волокнистого наповнювача.

Молекула лауретсульфат натрію представляється у вигляді ефіру сульфату жирних спиртів поліоксиетилену натрію. Енергія між молекулярної взаємодії із ЕД-20 становить - 5,43 кДж/моль, що характерно для орієнтаційних сил. ЛТС незначно впливає на зниження в'язкості, що пов'язано з його електродонорними властивостями і неможливістю утворення водневих зв'язків, враховуючи орієнтування молекули ЛТС неполярною вуглеводневою частиною до епоксигрупи ЕД-20.

Кремнійорганічний ПМС має дуже сильні внутрішньо-молекулярні взаємодії, тому він слабо реагує з молекулами ЕД-20 ($E_{взаєм} = -0,83$ кДж/моль) і не має великого впливу на в'язкісні властивості епоксидного олігомери, однак є найбільш ефективною і універсальною добавкою, що сприяє зниженню крайового кута змочування як на високоенергетичних так і на неполярних поверхнях [7].

Таким чином, можна зробити висновок:

1. Чим вища енергія міжмолекулярної взаємодії ПАР із ЕД-20, тим більше ПАР впливають на властивості в об'ємі зв'язуючого, а саме на в'язкість, і тим менше вони впливають на поверхневі властивості.

2. За допомогою комп'ютерного моделювання міжмолекулярних взаємодій епоксидного зв'язуючого з ПАР можна прогнозувати такі властивості, як в'язкість та змочувальна здатність для вибору оптимальних складів зв'язуючих.

1. Никитин М. К., Мельникова Е. П. Химия в реставрации. Справочное пособие. Л., – 1990. – 302 с.

2. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.

3. Суриков П.В., Трофимов А.Н., Кохан Е.И., Щеулова Л.К., Симонов-Емельянов И.Д. Влияние молекулярной массы и молекулярно-массового распределения на реологические свойства эпоксидных олигомеров // Вестник МИТХТ. – 2009. – Т.4. – №5. – С. 87-90.

4. Зайцев Ю. С., Кочергин Ю. С., Пактер М. К., Кучер Р. В. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции. – Киев: Наук. думка, 1990. – 200 с.

5. Блатов В. А. Неэмпирические расчетные методы квантовой химии. Самара: Изд - во « Самарский университет », 1996. – 190 с.

6. Барабаш Е.С. Попов Ю.В. Влияние ПАВ и кремнийорганических добавок на вязкостные свойства эпоксидного олигомера. Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ. – № 3 (77). – 2014. – С. 103-106.

7. Барабаш Е. С. Влияние модифицирующих добавок на адгезионную способность эпоксиаминных связующих к алюмоборсиликатному стеклу и стали / Е.С. Барабаш, Ю.В. Попов, Ю.М. Данченко // Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2015. – № 4. – С. 122-127.

ЗАСТОСУВАННЯ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН В АВТОМОБІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Бердник О.Ю., Бондаренко О.П., Апанасенко В.Ю.

(Київський національний університет будівництва і архітектури)

Abstract. *With the active development of the automotive industry there is a need for new materials, especially composite. Basalt fiber-based materials are one of the most promising materials for use in the automotive industry. Such materials include continuous basalt fibers, composite materials, reinforced basalt fibers, thermal insulation materials, anti-corrosion protective coatings.*

Keywords: *basalt fibers, heat and sound insulating materials, thermal properties.*

Базальтові волокна (БВ) виготовляються з базальтових порід вулканічного походження, які володіють високими термічними властивостями, хімічною стійкістю, природно екологічна чиста сировина. Базальтові волокна володіють високою вихідною міцністю, стійкістю до дії агресивного середовища, мають підвищену термостійкість, тепло- і звукоізоляційні характеристики, низьку гігроскопічність. Ці показники визначають підвищені експлуатаційні якості матеріалів з базальтового волокна: високу якість, довговічність і стійкість при взаємодії природних факторів, високих температур, агресивного середовища, стійкість до дії вібрації, абсолютну негорючість, що вигідно відрізняє ці матеріали від скло і мінеральних волокон. Крім того, сировинна база для виробництва матеріалів і виробів з базальту доступна і практично не обмежена.

Комплексні дослідження характеристик базальтового волокна і матеріалів на їх основі дозволяють встановити такі переваги перед іншими типами волокон і матеріалів. Відносно висока питома поверхня волокон на розрив, яка суттєво перевищує ці показники для металу (в 2-2,5 рази) і скловолокна з Е-скла (1,4-1,5 рази). Базальтові волокна володіють унікальною хімічною стійкістю в розчинах лугів. Висока термічна стійкість базальтових волокон наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Термічна стійкість базальтових волокон

Температура, °С	300	400	500	600	700
Вихідна питома міцність кг/мм ²	98,7	88,7	58,9	38,4	25,0

Як видно з таблиці на основі базальтових волокон можна виготовляти матеріали, які можуть працювати під дією високих температур. Теплоізоляційні вироби з базальтових волокон на основі неорганічних зв'язків можуть застосовуватися при температурах від – 200 °С до 700 °С.

Поєднання характеристик і властивостей базальтових волокон відкривають перспективу створення нового класу матеріалів для автомобільної промисловості – сотових і об'ємних пластикових конструкцій. Це особливо міцні матеріали, які при мінімальній масі, забезпечують високу конструктивну міцність і мають додаткові тепло- і звукоізоляційні властивості (таблиця 2).

Таблиця 2

Теплотехнічні характеристики базальтового волокна

Питома щільність матеріалу, кг/м ³	20	30	60	80	100	120	140
Коефіцієнт теплопро- відності (перепад температури 50°С)	0,040	0,037	0,034	0,034	0,036	0,038	0,041

Навіть звичайні матеріали з пластмас армовані 1,5-2% рубленим базальтовим волокном забезпечує свою міцність на злом і розрив на 17-30%. Тому застосування базальтових волокон для виготовлення конструктивних композиційних матеріалів в автомобілебудуванні має великі перспективи. Матеріали з базальтових волокон для термо- і звукоізоляції двигуна поєднують в собі термо- і звукоізоляційні характеристики, низьку гігроскопічність, стійкість до дії вібрації, негорючість і довговічність. При цьому, ці матеріали також відповідають вимогам нових американських стандартів на застосування негорючих матеріалів для автомобілів.

Голкопробивні холсти з неперервних базальтових волокон застосовуються зараз для термо- і звукоізоляції глушників п'яти типів

автомобілів «Toyota». Необхідність використання саме базальтових волокон в глушниках пов'язана із застосуванням на нових моделях автомобілів «Toyota» двигунів нових модифікацій з дообжигом відходів газу. При цьому температура газів, які надходять в глушник зростає. Скловолокну, яке застосовувалося раніше, не витримує цих температур і руйнується. Крім того, в глушниках проявляються інші позитивні якості базальтових волокон: вібростійкість, термостійкість при частих тепло змінах, що дозволяє виготовляти довговічні вироби високої якості. Матеріали спеціального значення (армовані) застосовуються для виготовлення тормозних колодок і дисків зчеплення. Рублені базальтові волокна є найкращим матеріалом для армування тормозних і фрикційних накладок. Так як витримують високі температури без зміни своїх фізичних характеристик, мають гарний фрикційний контакт з металом.

В матеріалах для виготовлення ущільнюючих термостійких прокладок двигуна і глушника традиційно застосовують базальтові волокна, які є заміниками канцерогенних матеріалів з азбестових волокон.

Неперервне базальтове волокно є чудовим матеріалом для корду автомобільних покришок, так як володіє високою міцністю на розрив, не витягуються під дією навантажень, витримують довготривалі перемінні навантаження. Крім того автопокришки з базальтовим кордом достатньо просто утилізувати – подрібнення і повторне використання резини.

Висновки. Розвиток автомобільної промисловості, підвищення вимог до якості і безпеки використаних матеріалів потребує створення і застосування нових композиційних матеріалів, які поєднують в собі ряд характеристик. Матеріали із базальтових волокон найбільш чітко задовольняють ці вимоги, так як володіють рядом унікальних характеристик і властивостей.

1. Мясников А.А. «Влияние химического состава базальтового волокна на его кислотоустойчивость» / Строительные материалы. — №4. — 1964.
2. Абрамян А.В. «Исследование процесса выщелачивания стекловидных базальтов» / Стекло и керамика. — № 7. — 1963.
3. Яремов П.С. «Влияние хлоридов и фторидов на выщелачивание базальтовых волокон» / Физика и химия стекла. — № 6. — 1992. 80
4. Федорова Л.В. «Кинетика начальных стадий выщелачивания свинцовосиликатных стекол кислыми растворами» / Физика и химия стекла. — № 6. — 1983.

**ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
МАГІСТРАЛЬНОГО КАНАЛУ ФРУНЗЕНСЬКОЇ
ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ**

Волкова В.Є., Мороз Л.В., Євтушенко П.Є, Кривошеєва Ю.М.
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет)

***Abstract.** The article provides information on the inspection of the state of reinforced concrete structures of the main canal of the irrigation system. The results of visual inspection and detected structural defects are presented. It is concluded that a more detailed survey of the main canal is necessary in connection with the increased incidence of flooding in the city of Podgorodnoye.*

***Keywords:** reinforced concrete structures, defects, reliability, examination, exploitation.*

Вступ. Україна має агроресурсний потенціал, що за даними ООН, дозволяє прогодувати близько 500 млн. осіб. Кліматичні зміни на території держави, що відбуваються протягом останніх років, призвели до зростання середньорічної температури повітря. Оскільки кількість опадів залишилась практично незмінною зростає посуха та відбуваються процеси опустелювання земель. Починаючи з 1991 року площа сухої та дуже сухої зони збільшилася на 7% [1]. Водночас площа з надмірним та достатнім атмосферним зволоженням зменшилася на 10%, займаючи лише 7,6 млн га ріллі. Таким чином, постійного зрошення потребують майже 19 млн га орних земель, а водорегулювання – 4,8 млн га [1]. Відповідно до вказаних показників потреба у зрошенні земель найближчим часом лише зростатиме.

Актуальність питання. Наразі стан меліоративного землеробства за рівнем використання наявних потужностей інженерної інфраструктури зрошення та дренажу оцінюється як кризовий, з подальшою загрозою погіршення [1]. Переважна частина гідротехнічних споруд (ГТС) водогосподарсько-меліоративного комплексу (ВМК) під дією зовнішнього середовища зазнала різного роду руйнувань. Відсутність коштів на проведення ремонтно-

відновлювальних робіт, належної експлуатації та обслуговування призвела більшість цих споруд перебуває в обмежено працездатному стані. Існуючі проблеми використання наявних потужностей гідротехнічних споруд, особливо внутрішньогосподарської мережі, призвели до значного зниження площ зрошення і водовідведення, а отже зменшення рівнів врожайності сільськогосподарських культур [2]. Тому актуальним є питання ремонту та реконструкції таких споруд з метою підвищення їх експлуатаційної надійності та експлуатаційного ресурсу [3].

Основний матеріал. Згідно «Порядку обстеження та оцінки технічного стану бетонних та залізобетонних гідротехнічних споруд водогосподарського призначення» основною метою проведення обстежень є: виявлення недопустимих дефектів, пошкоджень та деформацій їхніх конструкцій для своєчасного виконання ремонту, відновлення чи підсилення, а також обмеження експлуатації. Це дозволить попередити передчасний вихід споруди з діючого стану чи аварію. А також накопичення статистичних даних, необхідних для розробки рекомендацій по підвищенню експлуатаційної надійності бетонних та залізобетонних гідротехнічних споруд.

Значна кількість наукових праць, що присвячені питанням фільтраційної міцності ґрунтів, експлуатаційної надійності та безпеки каналів і споруд на зрошувальних системах була виконана та представлена Бойко Г. Я., Дехтяр О. О., Ігнатова О. С., Коваленко О. В., Коваленко П. І., Колесников В. П., Косіченко Ю. М., Крученко В. Д., Литвиненко П. Є., Малаханов В. В., Мірцхулава Ц. Є., Петроченко В. І., Рокочинський А. М., Ромашенко М. І., Чернишевська Л. Є., Щедрін В. М. та іншими науковцями.

Саме якісна, об'єктивна оцінка сучасного стану залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд сприятиме прийняттю виважених, науково обґрунтованих рішень для їх відновлення та модернізації.

Серед причин, які викликають зниження експлуатаційної надійності плит каналів зрошувальних систем та інших конструкцій гідротехнічних споруд на меліоративних мережах можна виділити наступні:

а) нормативно-дослідницькі фактори. До їх числа необхідно віднести: недостатнє вивчення міцності та деформаційних характеристик природних основ, величин й характеру можливого експлуатаційного навантаження, внутрішніх силових факторів, загальних деформацій споруд й температурних впливів; невідповідність розрахункової моделі споруди реальним умовам експлуатації;

б) проектні фактори. Серед основних: невисока якість інженерно-технічних досліджень, неправильно прийняті розрахункові схеми споруд; застосування нових конструкцій без достатньої експериментальної перевірки; неопрацьованість конструктивних задумів; недостатнє урахування реальних умов побудови споруд, їх експлуатації та ремонту;

в) будівельні фактори, до яких належать: неточність геометричної форми збірних елементів та uszkodження при їх транспортуванні; відхилення елементів від проектного положення при монтажі; неякісне запакування стиків, технологічної послідовності влаштування основ у складних геологічних умовах (просадочні та видужні ґрунти); відсутність відповідного технічного контролю;

г) експлуатаційні фактори.

Виявлення всіх факторів комплексного зниження експлуатаційної надійності потребує не тільки вивчення кожного з них, але й аналізу взаємодії в часі.

Оцінка міцності та водонепроникності бетонних та залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд складається з наступних етапів:

- загальне знайомство з гідротехнічною спорудою, виділення її ієрархічної структури;

- розбиття вимірювальної сітки в межах кожної частини споруди для подальших візуальних наглядів і діагностики;

- виконання візуального обстеження для кожної частини споруди;

- визначення ширини розкриття тріщин. При технічній неспроможності підійти впритул до конструкції, виконується визначення фактичної ширини розкриття тріщин при віддаленому оптичному замірюванні за допомогою еталонної таблиці;

- виконання інструментального обстеження для кожної частини споруди за допомогою склерометра Шмідта;

- виконання ультразвукової діагностики доступних поверхонь конструкції для оцінки міцності бетону та виявлення прихованих сколювань, розшарувань;

- оцінка водонепроникності доступних поверхонь конструкції;

- відбір проб, що представляють характерні елементи конструкції гідротехнічної споруди;

- нанесення результатів обстеження на вимірювальні сітки частин споруди. При цьому рекомендується користуватися умовними позначеннями.

На території Дніпропетровської області поблизу міста Підгородне знаходиться магістральний канал (МК1) Фрунзенської зрошувальної системи. Ця зрошувальна система побудована в 1965-1975 рр, та

запроектована на обслуговування 35,5 тис. га поливних земель.

Серед актуальних проблем області в 2020 році, що потребують наукового вирішення було висвітлено проблему підтоплення окремих територій міста Підгородне з магістрального каналу МК1 Фрунзенської зрошувальної системи.

При попередньому візуальному огляді стану залізобетонних конструкцій магістрального каналу було виявлено значну кількість недоліків, а саме відшарування захисного шару бетону з оголенням арматури (рис. 1); тріщини в конструкціях та порушення суцільності конструкцій споруди (рис. 2); руйнування окремих елементів споруди (рис. 3).



Рис. 1. Відшарування захисного шару бетону з оголенням арматури на плитах магістрального каналу

Відповідними дослідженнями інших авторів також встановлено приховані зони фільтраційних втрат води на ділянках цього магістрального каналу [4, 5].

На сьогодні виконати ремонтно-відновлювальні роботи одночасно по всій протяжності об'єкту неможливо.

Тому очевидним є поетапне обстеження відповідних ділянок магістрального каналу з детальним описом виявлених дефектів конструкцій та пропонуваними технологічними рішеннями щодо усунення цих дефектів частково або повністю. Слід також розглянути можливість розробки та застосування відповідних ремонтних матеріалів, що дозволять подовжити експлуатаційну надійність конструкцій, які можуть бути відновлені.



Рис. 2. Тріщини в конструкціях та порушення суцільності конструкцій споруди



Рис. 3. Руїнування окремих елементів споруди

Висновок. Зношеність залізобетонних конструкцій магістрального каналу видно при візуальному обстеженні споруди та при визначенні фільтраційних втрат води з даного каналу. Об'єми робіт, що мають бути виконані для відновлення експлуатаційної надійності споруди слід визначати детальним обстеженням тих ділянок каналу, що викликають підтоплення міста Підгородне в першу чергу. Серед завдань майбутньої дослідницької роботи можна виділити виявлення

всіх факторів комплексного зниження експлуатаційної надійності споруди, зокрема визначення технічного стану бетонних та залізобетонних конструкцій – оцінка міцності та водонепроникності конструкцій; оцінка деформації конструкцій. Актуальним також є розробка та впровадження матеріалів та технологій що дадуть змогу частково чи повністю відновити надійність конструкцій споруди.

1. <https://landlord.ua/news/systema-zroshuvalnoho-zemlerobstva-v-ukraini-problemy-vartist-ta-shliakhy-vyrishennia/>

2. Оцінювання технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем / О.О. Дехтяр, О.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгіна // Меліорація і водне господарство. – Випуск №1 (107). – 2018. – с. 102 – 109.

3. Сучасний модифікований бетон для ремонту та реконструкції гідротехнічних споруд / О. В. Коваленко // Меліорація і водне господарство. – Випуск 105. – 2017. – с. 107-112.

4. Дослідження технічного стану та втрат води з магістрального каналу Кільченської зрошувальної системи / Г. В. Гапіч Г. В., М. І. Гнида, О. О. Ігнатенко // Гідротехнічне будівництво: минуле, сьогодення, майбутнє: зб. наук. пр.: присвячений 55-річчю заснуванню факультету водного господарства, будівництва та землеустрою ДВНЗ «ХДАУ». – Херсон: ДВНЗ "ХДАУ", 2019. – с. 19-21

5. Технічний стан гідротехнічних споруд Дніпропетровської області / Орлінська О.В., Чушкіна І.В., П'ятниця І.В., Пікарєня Д.С. // Вісник НУВГП. Рівне, 2015. Вип. 3 (71). Ч. 1. С. 143-150.

САМООРГАНИЗАЦИЯ. СТРУКТУРА. СВОЙСТВА

Выровой В.Н., Суханов В.Г., Елькин А.В., Казмирчук Н.В.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

***Abstract.** The relative autonomy of materials and the properties attributed to them is shown. The issues of multi-site structure formation and the influence of active elements of the structure on its evolution during the operation of products are considered.*

***Keywords:** properties, multi-site structure formation, active elements of the structure*

Свойства, по определению, характеризуют те стороны объектов, которые обуславливают их различие или общность с другими объектами и, что важно, обнаруживаются в их отношении к ним. Это предполагает, что свойства как таковые не принадлежат объекту – они существуют сами по себе и могут быть «назначены» или «приписаны» объекту при его описании или при определении границ его использования. Подтверждением этому могут служить разработанные в течение последних столетий каталоги свойств с тщательным описанием нормированных договорных методов их количественного определения. Таким образом, существуют практически два независимых друг от друга мира – мир объектов и мир свойств этих объектов. Традиционно и исторически так сложилось, что даже в период всеобщей глобализации одни и те же объекты (процессы, явления) в разных странах оцениваются разными свойствами и не всегда совпадающими методами их оценки. Характерно, что практически все методы направлены на определение средних количественных значений тех или иных свойств. Разработаны или апробированы методики статистической оценки «достоверности» и «объективности» осредненных характеристик. Индивидуальность и неповторимость объектов растворяется в виртуальных средних значениях. Становление и эволюция объектов описываются при помощи изменения свойств. При этом, причины, объясняющие такие изменения, носят, как правило, правдоподобный характер, не

противоречащий причинно-следственным зависимостям, а также правилам и способам логических рассуждений, используемым и присущим действующей парадигме. Типичной зависимостью в рамках такой научной парадигмы является зависимость «состав-технология-свойства».

Достаточно успешно укореняющийся холистический подход закладывает основы иных парадигм. Представление любых объектов в виде систем предполагает определенную их внутреннюю организацию, которая зависит от оформления их структуры. Включение структуры в сущность объекта предполагает, что объект обладает специфическими свойствами, которые характерны именно для этого объекта. Такие представления ведут к индивидуализации объекта через самобытность и исключительность организации его структуры, и, что является важным, позволяют определить, как отдельные элементы структуры, так и взаимодействия и взаимовлияние, которые определяют состояние системы и пути ее дальнейшего развития. Благодаря таким особенностям структуры как способности самопроизвольно выходить из равновесного состояния, система перманентно находится в определенной динамике своего существования. При этом, как показали исследования И. Пригожина, структура системы, за счет проявления эффектов самоорганизации, может привести к изменению характера ее поведения. Пройдя через зону бифуркаций, система способна «забывать» свое предыдущее состояние и изменять функциональное или целевое назначение. Эффекты самоорганизации или синергетики (Г. Хакен) радикально изменили представление об объекте-системе, что позволило рассматривать историю эволюции системы с учетом возможного достижения состояния «самоорганизованной критичности» (по П. Баку). В связи с этим, необходимо учитывать сущностную составляющую объекта-системы путем оценки его (ее) свойств через структурную организацию, что позволило специалистам предложить уточненную и расширенную зависимость в следующей последовательности «состав-технология-структура-свойства». Следует отметить, что при реализации предложенной цепочки под «свойствами» понимаются те стороны объектов, которые зависят от организации их структуры.

Многоочаговое структурообразование основано на спонтанном образовании принципиально новых элементов структуры в результате самопроизвольного группирования структурных составляющих вокруг структурообразующих центров. Образовавшиеся новые элементы активно участвуют во всех последующих процессах структурообразования, что дает основание заключить о дискретном

характере развития структуры, при котором каждое последующее событие не вытекает с логической последовательностью из предыдущего. На каждом таком этапе начинает реализовываться развитие структуры по принципу «от достигнутого».

Многокомпонентным многоуровневым материалам присущи **многовариантность** совокупных химических, физических и механических явлений и процессов, что обеспечивает взаимообусловленную **многовекторность** структурных трансформаций в течение всех периодов их жизненного цикла. **Многокомпонентность**, **многоуровневость**, **многовариантность**, **многовекторность** и еще **много** других составляющих **многих** структур предполагает естественное сосуществование **многих** концепций, анализирующих и описывающих структурообразование композитов. Подобных материалов должно быть много на различных уровнях неоднородностей с различными темпоритмами протекания. Особенное внимание, по нашему мнению, следует обратить на роль внутренних поверхностей раздела в организации структуры композитов.

Возникнув в результате многоочагового структурообразования внутренние поверхности раздела становятся универсальными элементами проявления своеобразной неизменности организационной модели материала. Они контролируют все процессы, связанные с восприятием, передачей и диссипацией энергии деформаций, участвуют в процессах массопереноса, сохраняют блочность и мозаичность строения, обеспечивают взаимосвязь структурных уровней. Поверхности раздела способны трансформироваться в трещины и способствуют «вырождению» (преобразованию) трещин в поверхности раздела. Они поддерживают индивидуальность и своеобразие каждого блока, обеспечивая сохранение строения типа «структура в структуре». Можно обосновано предположить, что существование внутренних поверхностей раздела является необходимым условием существования материалов с полиструктурной организацией. Особенно необходимо учитывать роль поверхностей раздела в период выполнения целевых функций материала при эксплуатации изделий и конструкций.

Всегда существующая динамика изменения структуры материалов в период эксплуатации изделий во многом зависит от соотношения скоростей внешних воздействий и реакций на них активных элементов. В свою очередь, скорость реакции активных элементов определяется способностью внутренних поверхностей раздела перераспределять, диссипатировать, релаксировать и передавать все виды деформаций, как между отдельными блоками, так и внутри

блоков. Направление и интенсивность передачи и трансформации деформаций зависят от характера распределения существующих остаточных (технологических, наследственных) локальных и интегральных деформаций. Это способствует дальнейшему углублению процессов индивидуализации структуры каждого блока. Индивидуализация провоцирует создание множества несхожих по оформлению структуры и, следовательно, по материальному оформлению фрагментов. В результате увеличивается разнообразие структур каждого уровня неоднородностей и интегральной структуры материала, предопределяя, тем самым, вектор и способы эволюции структуры в период функционирования изделий и конструкций.

Способность сохранять требуемый уровень свойств материалов в период эксплуатации изделий, как показал проведенный анализ, зависит от элементов структуры, которые возникли в результате реализации многоочагового структурообразования. На этапе активного функционирования изделий и конструкций, вновь приобретенные элементы в виде трещин, внутренних поверхностей раздела и технологических деформаций являются доминирующими при определении пути постоянных структурных трансформаций, направленных на реализацию проявления эффектов выборочной адаптации в зависимости от условий эксплуатации.

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Гара Ан.А., Гара А.А.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

***Abstract.** Epoxy resin based mortars have been modified to increase durability in corrosive environments and reduce cost. This goal was achieved by filling it with a multifractional mineral framework and modifying it with zeolite and furfural. The content of furfural, the total content of the mineral framework, and the proportion of individual components in the framework varied. The investigated compositions are intended for operation under conditions of exposure to mixtures of water with oil products and other agents.*

***Keywords:** epoxy rubber resin, zeolite, furfural, experimental-statistical model.*

Для защиты бетонных конструкций, работающих в контакте с водой, нефтепродуктами и другими агентами, необходимы материалы повышенной стойкости. Комплексом свойств, необходимых при выполнении этих работ, обладают полимеррастворы на основе эпоксидных смол.

Использование разнообразных модификаторов и наполнителей позволяет регулировать свойства, повышать стойкость и долговечность и снижать стоимость этих материалов. Поэтому разработка оптимальной рецептуры и исследование свойств наполненных модифицированных эпоксидных композиций, предназначенных для определенных условий эксплуатации, является актуальной задачей.

В качестве базового компонента композиций для ремонта и защиты бетонных элементов целесообразно использовать производимую в Украине эпоксикаучуковую смолу «Макро». Улучшению эксплуатационных свойств растворов на этой смоле может способствовать введение определенных дозировок фурфурола и цеолита.

В работе проведен поиск оптимального количества и состава

минеральной дисперсной фазы и условий модификации композиций, определение уровней механических свойств затвердевших растворов для составов, включающих фурфурол и фракции цеолита, в соответствии с планом эксперимента, построение экспериментально-статистических (ЭС) моделей и анализ влияния факторов состава на механические свойства композиций [1].

В эксперименте варьировались уровни пяти параметров дисперсной системы. Параметры исследованных составов были заданы в массовых долях и в массовых частях (м. ч.) на 100 м. ч. смолы. Для исследования влияния на свойства системы компоненты дисперсной фазы были представлены среди варьируемых факторов иерархией соотношений – долями компонентов вложенных подсистем.

Выполнение эксперимента по 27-точечному плану позволило описать исследуемые критерии качества материала в зависимости от параметров состава ЭС-моделями 2-го порядка (в пределах заданных диапазонов содержания компонентов). В эксперименте были исследованы прочностные характеристики композитов по результатам испытаний образцов-призм (2×2×8 см) после твердения в нормальных условиях.

По экспериментальным значениям призмной прочности R_p (МПа) для 27 композиций получена ЭС-модель (1), с 18 значимыми коэффициентами (при ошибке эксперимента 2 МПа и риске 10 %):

$$\begin{aligned}
 R_p = & 98.8 + 6.0x_1 - 2.2x_1x_2 + 4.2x_2 - 1.6x_1^2 + \\
 & + 3.8x_3^2 - 1.6x_3x_4 + 2.5x_3x_5 - 2.2x_4 + 1.1x_4x_5 \\
 & - 5.6x_5 - 8.8x_5^2 - 2.2x_1x_3 - 1.9x_1x_4 + 2.4x_1x_5 - \\
 & - 2.4x_2x_3 - 1.4x_2x_4 + 1.7x_2x_5.
 \end{aligned} \quad (1)$$

Модель описывает полное поле [2] предела призмной прочности, в координатах всех пяти параметров состава. Обобщающие показатели этого поля: максимум $R_{p,max}=118$ МПа, при $x_1=x_2=+1$ (максимальный объем каркаса с высоким содержанием тонкомолотого наполнителя), $x_3=x_4=-1$ (минимальное содержание в наполнителе цеолита без крупных зерен) и $x_5 \approx -0.3$ (средний уровень модификации фурфуролом); минимум $R_{p,min}=59$ МПа ($x_1=x_2=x_3=x_4=-1$ и $x_5=+1$) вдвое ниже.

Однофакторные кривые $R_p(x_i)$ ($i=1, \dots, 5$), проходящие через экстремальные точки, показаны на рис. 1. Определяющую роль в формировании призмной прочности имеет воспринимающий сжимающие напряжения минеральный каркас, который занимает большую часть объема композита и имеет оптимальный (для этого внешнего воздействия) многофракционный зерновой состав. Роль каркаса особенно проявляется в области пониженной прочности на сжатие, когда уменьшение наполнения с 380 до 180 м.ч. или увеличение доли песка в

каркасе с 0.1 до 0.7 приводит к падению прочности на 25–30 МПа.

Предел прочности R_p учитывается при анализе несущей способности относительно массивных конструкций из полимербетонов.

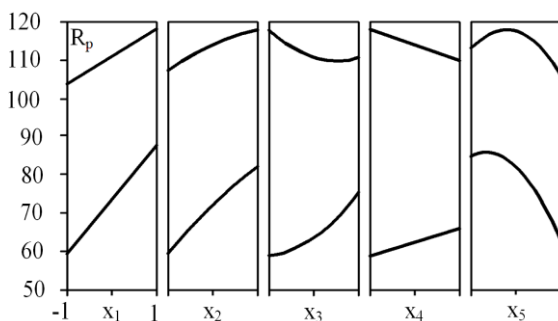


Рис. 1. Зависимости призмной прочности от факторов состава в зонах минимума и максимума

Полимерные композиты на практике чаще используются в защитных, восстановительных, декоративных и других покрытиях и работают в относительно тонких слоях. Поэтому для таких композиций более приоритетной является характеристика механических свойств – прочность на растяжение.

Эту характеристику мелкозернистых полимерных композитов в данном исследовании, следуя [3], оценивали по прочности на растяжение при изгибе.

Полное поле предела прочности при изгибе R_b (МПа) описывается моделью (2), с 17 значимыми оценками коэффициентов (при ошибке эксперимента 1.2 МПа):

$$\begin{aligned}
 R_b = & 30,5 - 1,2x_1 + 1,8x_1^2 - 1,3x_1x_2 - \\
 & - 2,2x_2^2 - 0,4x_3 - 1,1x_3x_4 + 0,5x_3x_5 - 1,0x_4 \\
 & + 1,3x_4x_5 - 0,9x_5 - 1,4x_5^2 - \\
 & - 1,6x_1x_3 - 1,0x_1x_5 - 1,2x_2x_3.
 \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 2 показаны однофакторные кривые $R_b(x_i)$, проходящие через экстремальные точки поля – максимума $R_{b,max}=37$ МПа, при $x_1=x_3=-1$, $x_2 \approx 0$, $x_4=-1$, $x_5=0.44$, и минимума $R_{b,min}=24$ МПа, при $x_1=0.86$, $x_2=x_3=x_4=+1$, $x_5=-1$.

Следует отметить, что эти зависимости существенно отличаются от аналогичных зависимостей для призмной прочности, как составами, соответствующими экстремумам свойства, так и характером влияния соотношений между ингредиентами.

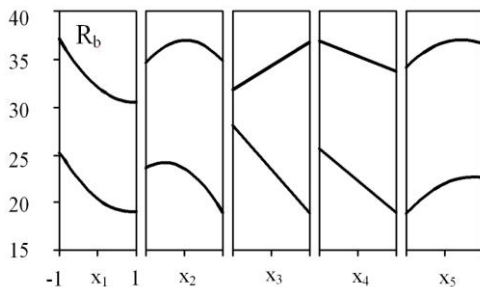


Рис 2. Зависимости прочности при изгибе от факторов состава в зонах минимума и максимума

Прежде всего, увеличение доли минерального каркаса в модифицированном эпоксидном композите ведет к уменьшению прочности при изгибе в зонах обоих экстремумов. В области минимума (в отличие от зоны $R_{p,\min}$ – рис. 1) с повышением доли наполнителя и содержания в нем зерен цеолита также наблюдается эффект снижения R_b . Единственный из 5-ти факторов, способствующий увеличению этой механической характеристики – количество фурфурола (в исследуемом диапазоне).

Таким образом, для затвердевших эпоксидных растворов 27 составов определены значения механических свойств – пределов призмной прочности при сжатии (в диапазоне от 67 до 114 МПа) и прочности растяжения при изгибе (23.4–33.6 МПа). Полученные нелинейные экспериментально-статистические модели позволили оценить влияние количества и состава минерального каркаса и дозировки фурфурола на механические свойства композитов, определить оптимальные соотношения компонентов. Так для R_b , увеличению которой способствует введение фурфурола, максимальный уровень 37 МПа обеспечивается при невысоком наполнении и средней доле наполнителя в каркасе (60 %), модификацией максимальным количеством тонкодисперсного цеолита и 10 м. ч. фурфурола. Превышение над минимальной прочностью 35 %, а относительно минимально модифицированного композита 18 %.

1. Гара Ан.А. Анализ влияния многофракционного каркаса на механические свойства полимерных композиций // Вісник ОДАБА. 2014 № 55. С 54–61.

2. Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. // Астропринт. Одесса. 2017. 168 с.

3. Патуроев В.В. Полимербетоны / Стройиздат. Москва, 1987. 286с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЩЕЛОЧНО- АКТИВИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОВ

Гоц В.И., Гелевера А.Г., Рогозина Н.В., Смешко В.В.
(Киевский национальный университет строительства и
архитектуры)

Abstract. An alternative to traditional clinker cement in the form of a class of alkali-activated cements has been proposed. Their ecological, economic and operational advantages are shown.

Keywords: slag-alkali binders, alkali-activated cements, geocements, utilization, immobilization.

Портландцемент, который был изобретен в 1824 году, стал высоко ценным строительным материалом во всем мире, а цементные материалы на основе портландцемента до сих пор остаются наиболее часто используемыми материалами для изготовления бетонов.

Однако производство портландцемента, во-первых, очень энергоемкий процесс и, во-вторых, экологически вредный процесс из-за больших выбросов CO_2 и тяжелых металлов в атмосферу.

Производство цемента – третья по величине причина выбросов диоксида углерода (рис.1). Одна тонна произведенного цемента выбрасывает в атмосферу от 0,35 до 0,53 метрической тонны CO_2 в зависимости от состава клинкера [1, 2].

Так, если в 1990 г. (базисный год Киотского протокола) выбросы CO_2 в атмосферу составляли 22,5 млрд.т, то уже в 2011 – 34,7 млрд.т.

В стоимостном выражении производство 1 т цементного продукта составляет 63,8 €/т, а затраты на 1 тонну предотвращенных выбросов CO_2 – 107,4 €/т [3].

Вот почему цементная промышленность является важным сектором для стратегии улучшения глобальной экологии и снижения выбросов CO_2 .

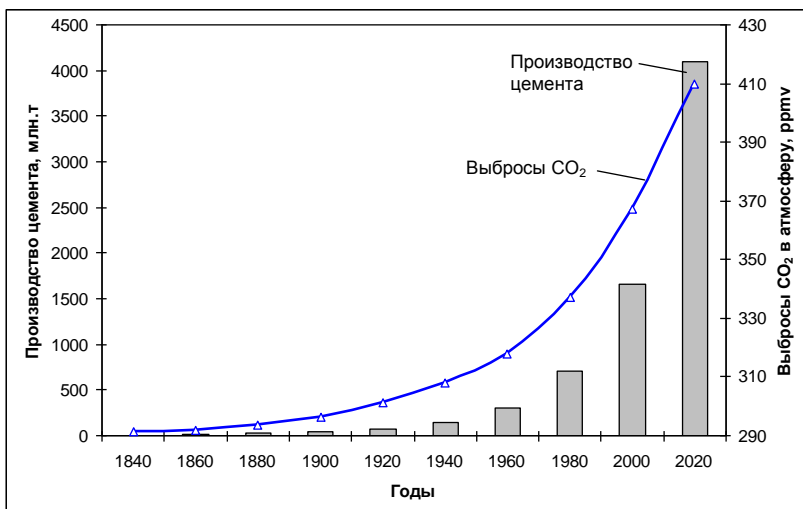


Рис. 1. Взаимосвязь между мировым производством портландцемента и глобальными выбросами диоксида углерода в атмосферу [3]

Большую потенциальную опасность представляют также и тяжелые металлы, которые, подобно соединениям серы и азота, распространяются на большие расстояния в виде аэрозолей. В процессе обжига цементной смеси легколетучие тяжелые металлы *Cu, Zn, Pb, Cd, Hg* и др. переходят в газовую фазу на 35...96% и накапливаются внутри материалов и печной пыли (табл. 1) [3].

Таблица 1

Концентрации тяжелых металлов в портландцементной пыли клинкера и цементных печей (электрические фильтры)

Металлы	Накопление тяжелых металлов, г/т	
	клинкер	цементная пыль
Ni	40...150	100...120
Cu	400...1000	15...45
Zn	300...700	180...250
Pb	50...70	150...400
Cr	60...150	40...80
Co	5...50	40...80
Mn	600...1200	300...800
Mo	1...4	1...2
V	50...100	10...40

Возникает новая проблема, – каким образом и куда утилизировать собранную пыль?

Еще одна не менее важная экологическая проблема – это засорение планеты промышленными отходами (металлургической, топливно-энергетической, химической, атомной и др. промышленностей).

Спрос на цемент быстро растет во всем мире, особенно в развивающихся странах [4], а это означает, что существует острая потребность в альтернативных вяжущих для удовлетворения жилищных и инфраструктурных потребностей миллиардов людей без дальнейшего повышения уровня CO_2 в атмосфере Земли.

В качестве альтернативы клинкерным цементам предлагаются использование щелочно-активированных цементов, основой которых являются отходы металлургической, фосфорной и топливно-энергетической промышленностей (гранулированные доменные, сталеплавильные и электротермофосфорные шлаки, шлаки цветной металлургии, золы ТЭС) и промышленные щелочные отходы или продукты химической промышленности, дающие в водных растворах щелочную реакцию. Щелочно-активированные цементы способны обеспечить активность 40...120 МПа [5].

Расчетное уменьшение выбросов CO_2 (в сравнении щелочно-активированных цементов с портландцементом) цитируемое в литературе колеблется от 30% до 80% [6-11]. Уменьшение выбросов CO_2 в случае использования связующих, активируемых щелочью обусловлено, в основном, отказом от стадии высокотемпературного обжига при синтезе щелочно-активированных цементов из золы и/или шлаков.

Физико-механические преимущества щелочно-активированных цементов: универсальность свойств, высокая прочность, высокая ранняя прочность, коррозионная стойкость, огнеустойчивость, термостойкость, невысокая экзотермия, долговечность (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные характеристики разных цементов

Тип цемента	Ранняя прочность	Прочность	Химическая стойкость
Портландцемент	++	++	+
Смешанный цемент	+	+++	++
Цемент с высоким содержанием глинозема	+++	+	+++
Цемент с высоким содержанием сульфатов	+	+++	+++
Цемент сульфоалюминатный	+++	++	+++
Щелочно-активированный цемент	+++	+++	+++

Примечание. (+) – низкая, (++) – средняя, (+++) – высокая

Экологические преимущества щелочно-активированных цементов:

– сохранение природных ресурсов (что соответствует требованиям глобального «перспективного устойчивого развития», т.е., собственно, защиты окружающей среды, защиты социальных аспектов и защиты экономического развития);

– защита воздуха, грунтовых вод и почвы (отходы, отведенные с полигонов, не будут производить вредных газообразных выбросов или жидких стоков, что снижает риск загрязнения);

– снижение выбросов парниковых газов (производство щелочно-активированных цементов не требует высокотемпературных процессов);

– эффективное связывание тяжелых металлов клинкерной пыли печей, гальванических отходов различных производств, электролитов отработанных аккумуляторов с утилизацией их при производстве малых архитектурных форм, дорожном строительстве и др. за исключением жилищного строительства [5];

– эффективная иммобилизация радиоактивных отходов АЭС, предприятий «Радон» в компаундах на щелочно-активированном цементе, в первую очередь за счет химического и сорбционного связывания радионуклидов в цементной матрице, а также за счет высокой плотности цементного камня [5].

Экономические и правовые предпосылки использования щелочно-активированных цементов:

– только 1/3 инвестиций, необходимых для организации производства традиционного цемента требуется для цемента, активированного щелочью [3];

– наличие нормативно-технической базы щелочно-активированных цементов в виде ДСТУ, ТУ, строительных норм и правил;

– положительный опыт использования щелочно-активированных цементов как у нас в стране, так и за рубежом – в России, Китае, Австралии, Европе.

Таким образом, использование щелочно-активированных цементов отвечает критериям мирового «глобального устойчивого развития» для обеспечения защиты окружающей среды, социальных аспектов и экономического развития.

Технологии получения и использования щелочно-активированных цементов вполне подходит под определение ЕС «наилучшие доступные технологии», обеспечивающие высокий уровень защиты окружающей среды в целом.

Производство цемента, активированного щелочью, будет способствовать развитию в цементной отрасли технологий по дальнейшему сокращению выбросов в атмосферу. Таким образом, оно отвечает требованиям в отношении «экономики закрытого типа будущего», а инвестиции можно рассматривать как «социально-ответственные инвестиции», и они относительно низки по сравнению с налоговым бременем CO_2 на производителей портландцемента.

1. Gartner E.: Industrially interesting approaches to "low- CO_2 " cements. *Cem. Concr. Res.* 34(9), 1489-1498 (2004).

2. Damtoft J.S., Lukasik J., Herfort D., Sorrentino D., Gartner E.: Sustainable development and climate change initiatives. *Cem. Concr. Res.* 38(2), 115-127 (2008).

3. John L. Provis, Jannie S.J. van Deventer: Alkali Activated Materials. *State-of-the-Art Report. RILEM TC 224-AAM. Springer* (2014).

4. Taylor M., Tarn C, Gielen D.: Energy efficiency and CO_2 emissions from the global cement industry. *International Energy Agency* (2006).

5. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Саницкий М.А., Руденко И.И. Щелочные цементы: монография. – Киев: ООО "Основа", 2015. – 448 с.

6. von Weizsacker E., Hargroves K., Smith M.H., Desha C, Stasinopoulos P.: *Factor Five: Transforming the Global Economy Through 80% Improvements in Resource Productivity. Earthscan, London* (2009).

7. Tempest B., Sansui O., Gergely J., Ogunro V., Weggel D.: Compressive strength and embodied energy optimization of fly ash based geopolymer concrete. In: *World of Coal Ash 2009, Lexington, KY. CD-ROM Proceedings* (2009).

8. Buchwald A., Dombrowski K., Weil M.: Evaluation of primary and secondary materials under technical, ecological and economic aspects for the use as raw materials in geopolymeric binders. In: Bilek V., Kersner Z. (eds.) *2nd International Symposium on Non-Traditional Cement and Concrete, Brno, Czech Republic*, pp. 32-40 (2005).

9. Weil M., Dombrowski K., Buchwald A.: Life-cycle analysis of geopolymers. In: Provis, J.L., van Deventer, J.S.J. (eds.) *Geopolymers: Structure, Processing, Properties and Industrial Applications*, pp. 194-212. *Woodhead, Cambridge* (2009).

10. Weil M., Jeske U., Dombrowski K., Buchwald, A.: Sustainable design of geopolymers - evaluation of raw materials by the integration of economic and environmental aspects in the early phases of material development. In: Takata S., Umeda Y. (eds.) *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses, Tokyo, Japan*, pp. 279-283. *Springer, London* (2007).

11. McLellan B.C., Williams R.P., Lay J., van Riessen A., Corder G.D.: Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary Portland cement. *J. Cleaner Prod.* 19(9-10), 1080-1090(2011).

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АДГЕЗИВІВ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ НА РАННІХ ЕТАПАХ ЇХ ТВЕРДНЕННЯ

¹Гузій С.Г., ²Романюк В.В., ²Лашівський В.В., ³Бажелко І.К.

(¹ТОВ “ГЕОФІП”, м. Кропивницький,

²Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

³Білоруський державний технологічний університет, м. Мінськ)

Abstract. *The deformation properties of adhesives for gluing samples from pine wood at the early stages of their hardening have been determined. It is noted that when gluing samples of pine PVA D2, there is no linear pattern of decrease or increase in absolute deformations of the samples, depending on the magnitude of the loads. The highest values of the elastic modulus (107.49 MPa) and shear modulus (35.83 MPa) are characteristic of glued samples on the third day of hardening. It is shown that when using the KD5 aluminosilicate adhesive with an increase in the curing age of the samples from 1 to 7 days, there is a steady tendency towards a decrease in the absolute value of deformations (4.8 mm; 4.0 mm; 1.8 mm), shear modulus (38.64 MPa, 35.83 MPa, 31.94 MPa) and the elastic modulus (115.92 MPa, 107.49 MPa, 95.82 MPa), starting from which the section of the F-Δl diagram has an almost linear character. Moreover, the magnitude of the load, upon reaching which the diagram becomes linear, is the same and amounts to $F = 10$ kg.*

Keywords: *adhesive, deformation, pine wood, shear modulus, elastic modulus, load*

Клеєні дерев'яні конструкції з некондиційної деревини набули широкого поширення, насамперед, завдяки своїм високим характеристикам міцності, вологостійкості і порівняно невисокими витратами при монтажі. Для склеювання виробів із некондиційної деревини, в основному використовують органічні клеї ПВА-клеї. Доля мінеральних клеїв, особливо алюмосилікатних [1, 2], незначна, але вона має тенденцію до розширення за рахунок певних їх переваг, а

саме: в забезпеченні міцності клейового шва яка значно вище міцності деревини [3], особливо в момент виникнення пожежі [4]. Але білою плямою в алюмосилікатних адгезивах є недостатність даних щодо деформаційних властивостей, що досить актуально при експлуатації дерев'яних виробів і конструкцій на їх основі за різних умов зовнішнього середовища.

Метою досліджень є визначення на ранніх етапах тверднення деформаційних властивостей алюмосилікатного адгезиву призначеного для склеювання деревини.

В якості об'єкту досліджень обрано алюмосилікатний клей KD5 виробництва ТОВ Геофіп (м. Кропивницький, Україна). У якості об'єкта для порівняння обрано клей ПВА Д2 виробництва ТОВ Дивосвіт (м. Дніпро, Україна). Підготовлені зразки з деревини сосни склеювали згідно відповідних НТД. Деформаційні характеристики склеєних зразків деревини визначали на універсальній випробувальній машині УМТ-10 після їх тверднення на першу, третю та сьому добу.

Відповідно до вимог [5] значення умовної межі пропорційності визначають за виразом:

$$\sigma = \frac{4F_{\text{пц}}}{\pi D^2},$$

де $F_{\text{пц}}$ – навантаження, що відповідає межі пропорційності; D – діаметр зразка.

Оскільки такі дані відсутні, можна спробувати визначити модуль пружності E (його ще називають модулем Юнга) через модуль зсуву G (іноді його позначають μ):

$$G = \frac{Fl}{A\Delta_x},$$

де F – зсувне зусилля, кг; A – площа зсуву, см^2 ; Δ_x – зміщення, см; l – початкова довжина, см.

Модуль зсуву пов'язаний з модулем пружності залежністю:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)},$$

де E – модуль пружності, а $\nu = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона.

На рис. 1 представлені дані щодо зміни деформацій від навантаження клеєних зразків сосни адгезивом ПВА Д2. Після доби тверднення (рис. 1, а) на діаграмі можна виділити дві ділянки, які характеризують роботу зразка від початку прикладання навантаження і до його фактичного руйнування (тобто, до величини навантаження $F = 82$ кг). На 1-й ділянці спостерігається практично лінійна залежність між навантаженнями і деформаціями $F - \Delta l$. Приріст

деформацій від 0 до 2,25 мм, приріст навантаження від 0 до 2 кг. На наш погляд ці деформації у 2,25 мм при максимальних 6 мм (тобто близько 37,5% від максимальних) можна розглядати як такі, що виникають на початковому етапі внаслідок обтиснення (і, як наслідок, зминання) деревини матеріалу зразка і деякої деформації клейового шва. Тобто, прикладання навантаження $F = 2$ кг дозволяє «вирити» початкові недосконалості зразка.

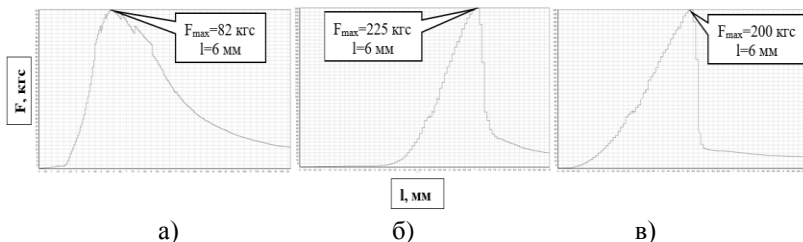


Рис. 1. Діаграма навантаження–деформація клейового з’єднання деревини сосни адгезивом ПВА Д2 в залежності від часу тверднення, діб: а – 1; б – 3; в – 7

Таким чином, нас може цікавити лише ділянка роботи зразка, яку можна апроксимувати практично лінійною залежністю, з деформаціями від 2,25 мм до 6 мм і навантаженнями від 2 до 82 кг. Тобто, фактично є приріст деформацій 3,75 мм за приросту навантаження 80 кг.

Модуль зсуву, визначений за експериментальними даними:

$$G = \frac{Fl}{A\Delta_x} = \frac{80 \cdot 3}{6 \cdot 0,375} = 106,6 \text{ кг/см}^2 = 10,66 \text{ МПа},$$

де $F = 80$ кг; $A = 6 \text{ см}^2$; $\Delta_x = 0,375$ см; $l = 3$ см.

Модуль зсуву пов’язаний з модулем пружності залежністю $G=f(E/x)$ і становить величину $E = 2 \cdot 10,66(1 + 0,5) \approx 32$ МПа.

Аналогічна ситуація спостерігається для склеєних зразків на 3 і 7 добу тверднення, різниця лише у величинах експериментальних даних.

На 3 добу тверднення (рис. 1, б) приріст деформацій від 4,0 мм до 7,0 мм. Абсолютний приріст 3 мм. Приріст навантаження від 10 кг до 225 кг. Абсолютний приріст 215 кг.

$$G = \frac{Fl}{A\Delta_x} = \frac{215 \cdot 3}{6 \cdot 0,3} = 358,33 \text{ кг/см}^2 = 35,83 \text{ МПа}.$$

$$E = 2G(1 + \nu) = 2 \cdot 35,83(1 + 0,5) \approx 107,49 \text{ МПа}.$$

Зростання величини модуля зсуву і модуля пружності порівняно зі зразком після 1 доби тверднення, становить 3,36 рази.

На 7 добу тверднення (рис. 1, в) приріст деформацій від 1,2 мм до 5,2 мм. Абсолютний приріст 4 мм. Приріст навантаження від 10 кг до 220 кг. Абсолютний приріст 210 кг.

$$G = \frac{Fl}{A\Delta x} = \frac{210 \cdot 3}{6 \cdot 0,4} = 262,5 \text{ кг/см}^2 = 26,25 \text{ МПа.}$$

$$E = 2G(1 + \nu) = 2 \cdot 26,25(1 + 0,5) \approx 78,75 \text{ МПа.}$$

Суттєве зменшення величини модуля зсуву і модуля пружності порівняно зі зразком на 3 добу тверднення 73,3%.

На рис. 2 представлені дані щодо зміни деформацій від навантаження клеєних зразків сосни алюмосилікатним адгезивом KD5.

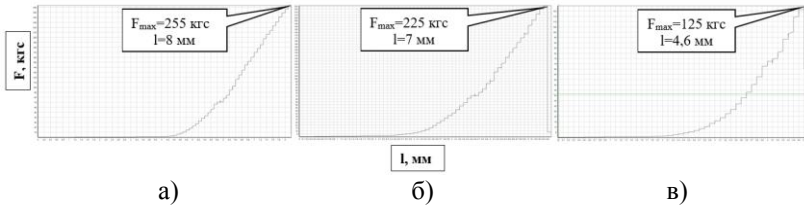


Рис. 2. Діаграма навантаження–деформація клейового з'єднання деревини сосни алюмосилікатним адгезивом KD5 в залежності від часу тверднення, діб: а – 1; б – 3; в – 7

Після доби тверднення (рис. 2, а) приріст деформацій від 4,8 мм до 8,1 мм. Абсолютний приріст 3,3 мм. Приріст навантаження від 10 кг до 265 кг. Абсолютний приріст 255 кг.

$$G = \frac{Fl}{A\Delta x} = \frac{255 \cdot 3}{6 \cdot 0,33} = 386,36 \text{ кг/см}^2 = 38,64 \text{ МПа.}$$

$$E = 2G(1 + \nu) = 2 \cdot 38,64(1 + 0,5) \approx 115,92 \text{ МПа.}$$

На 3 добу тверднення (рис. 2, б) приріст деформацій від 4,0 мм до 7,0 мм. Абсолютний приріст 3 мм. Приріст навантаження від 10 кг до 225 кг. Абсолютний приріст 215 кг.

$$G = \frac{Fl}{A\Delta x} = \frac{215 \cdot 3}{6 \cdot 0,3} = 358,33 \text{ кг/см}^2 = 35,83 \text{ МПа.}$$

$$E = 2G(1 + \nu) = 2 \cdot 35,83(1 + 0,5) \approx 107,49 \text{ МПа.}$$

Зменшення величини модуля зсуву і модуля пружності порівняно зі зразком на 1 добу тверднення становить 7,27%.

На 7 добу тверднення (рис. 2, в) приріст деформацій від 2,8 мм до 4,6 мм. Абсолютний приріст 1,8 мм. Приріст навантаження від 10 кг до 125 кг. Абсолютний приріст 115 кг.

$$G = \frac{Fl}{A\Delta x} = \frac{115 \cdot 3}{6 \cdot 0,18} = 319,44 \text{ кг/см}^2 = 31,94 \text{ МПа.}$$

$$E = 2G(1 + \nu) = 2 \cdot 31,94(1 + 0,5) \approx 95,82 \text{ МПа.}$$

Зменшення величини модуля зсуву і модуля пружності порівняно зі зразком після доби тверднення становить 17,34%, а зі зразком після 3 діб тверднення – 10,86%.

Зі збільшенням віку зразків, виконаних із застосуванням адгезиву ПВА Д2, не спостерігається певної закономірності зменшення чи збільшення абсолютних деформацій зразків (відповідно 3,72 мм; 3,0 мм; 4,0 мм). Так само немає закономірності у величинах деформацій зразків, які можна вважати початком лінійної залежності між ними і навантаженнями (відповідно 2,25 мм; 4,0 мм; 1,2 мм) чи її закінченням (відповідно 6,0 мм; 7,0 мм; 5,2 мм). Відрізняються і величини руйнівних навантажень, особливо для зразка у віці однієї доби (відповідно 82 кг; 225 кг і 220 кг).

Зі збільшенням віку тверднення зразків, виконаних із застосуванням алюмосилікатного адгезиву KD5 спостерігається стійка тенденція до зменшення абсолютної величини деформацій (4,8 мм; 4,0 мм; 1,8 мм), починаючи з яких ділянка діаграми $F - \Delta l$ має практично лінійний характер. Причому величина навантаження, за досягнення якого діаграма набуває лінійного характеру, однакова і становить $F = 10$ кг. Вочевидь це є навантаження, за дії якого в зразках компенсуються всі початкові похибки і недосконалості. Разом з тим зменшується і верхня межа деформацій зразків (відповідно 8,1 мм; 7,0 мм; 4,6 мм), що може свідчити про зростання жорсткості безпосередньо клейового з'єднання.

Суттєве зменшення величини руйнівного навантаження для зразка на основі алюмосилікатного адгезиву після 7 діб тверднення (у 2,12 рази порівняно зі зразком на першу добу і у 1,8 рази порівняно зі зразком на третю) для визначення величин модулів пружності і зсуву не має такого вирішального значення і це зменшення становить відповідно 7,27% і 17,34%.

Вбачається більш доцільним використання алюмосилікатного адгезиву KD5 [3], застосування якого є більш передбачуваним і прогнозованим.

Висновки.

В результаті дослідження визначено деформаційні властивості адгезивів для склеювання зразків із деревини сосни на ранніх етапах їх

тверднення. Відмічено, що при склеюванні зразків сосни ПВА Д2, не спостерігається лінійної закономірності зменшення чи збільшення абсолютних деформацій зразків в залежності від величин навантажень. Найбільші значення модуля пружності (107,49 МПа) і модуля зсуву (35,83 МПа) характерні для склесних зразків під час випробувань на третю добу тверднення.

Зазначено, що при застосуванні алюмосилікатного адгезиву KD5 зі збільшенням віку тверднення зразків від 1 до 7 діб, спостерігається стійка тенденція до зменшення абсолютної величини деформацій (4,8 мм; 4,0 мм; 1,8 мм), модуля зсуву (38,64 МПа, 35,83 МПа, 31,94 МПа) і модуля пружності (115,92 МПа, 107,49 МПа, 95,82 МПа) починаючи з яких ділянка діаграми $F - \Delta l$ має практично лінійний характер. Причому величина навантаження, за досягнення якого діаграма набуває лінійного характеру, однакова і становить $F = 10$ кг.

Подальші дослідження будуть направлені на визначення даних величин адгезивів у більш пізні строки, а саме на 28 добу тверднення.

1. Гузій С.Г., Гузій О.І. Дослідження впливу модифікуючих добавок на фізико-механічні властивості алюмосилікатних адгезивів для склеювання деревини/ Моделювання та оптимізація будівельних композитів: мат-ли міжнар. сем. – Одеса: ОДАБА, 2019. – С. 26-30.
2. Krivenko, P., Guzii, S. The effect of modifying additives on the modulus of elasticity and strength of adhesives based on an alkaline aluminosilicate binder. Proceed. of the 20. Ibausil. Internationale Baustofftagung. – Weimar, 12-14 September, 2018. – Weimar, Germany, 2018. Tagungsbericht – Band 1. – pp. 2-1213 – 2-1218. ISBN: 978-3-00-059950-7.
3. Гузій С.Г., Лашівський В.В. Дослідження реологічних та деформативних характеристик алюмосилікатних адгезивів для склеювання виробів із масивів сосни. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2019. – Вип. 38. – С. 121-129.
4. Guzii S., Krivenko P., Bondarenko O., Kopylova T. Study on physico-mechanical properties of the modified alkaline aluminosilicate adhesive-bonded timber elements. Solid State Phenomena. – Vol. 296. – 2019. – pp. 112-117. doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.296.112.
5. ГОСТ 26454-85. Метод определения модуля нормальной упругости клея в клеевом соединении.

РОЛЬ КИСЛОТНО-ОСНОВНИХ МІЖФАЗНИХ ВЗАЄМОДІЙ У МОДЕЛЮВАННІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ НАПОВНЕНИХ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ

Данченко Ю. М., Обіженко Т.М., Барабаш О.С., Скрипинець А.В.
(Харківський національний університет будівництва та архітектури)

Abstract. *The article substantiates the approach to modeling and optimization of epoxy composites with dispersed inorganic fillers. The approach is based on ideas about acid-base interactions in the matrix of epoxy compositions and on the phase separation surface.*

Keywords. *Epoxy composites, disperse fillers, acid-base interactions, interfacial surface.*

Для створення ефективних епоксидних композиційних матеріалів необхідна наявність міцного термічно і гідролітично стійких зв'язків між поверхнею наповнювачів і епоксидною полімерною матрицею, які забезпечують їх одночасну працездатність. Умовою утворення подібних зв'язків є наявність на поверхні наповнювачів функціональних груп (функціоналів), які здатні до хімічних і фізико-хімічних взаємодій з функціоналами епоксидних смол та твердників.

Високоенергетична поверхня неорганічних наповнювачів, як відомо, характеризується наявністю шару з гідроксильних груп і активних центрів, які, з точки зору кислотно-основної теорії, можна розділити на центри Льюїса і центри Бренстеда. Так, поверхні твердих оксидів характеризуються широким набором кислотно-основних центрів основного (лужного) (MeO^- , O^{2-} , $\text{OH}^{\delta-}$), кислотного (Me^{n+} , $\text{OH}^{\delta+}$), а також нейтрального характеру. Функція кислотності активних центрів змінюється у широких межах. Поверхневі ОН-групи суттєво відрізняються за кислотно-основними властивостями навіть для чистих оксидів. На складних мінеральних матеріалах поверхневі функціонали можуть бути пов'язані з різними атомами, що призводить до більшої різниці властивостей активних центрів. Вміст та властивості поверхневих функціональних груп залежать від передісторії одержання, зберігання та попередньої обробки наповнювачів.

Утворення гідроксильно-гідратного поверхневого шару неорганічних наповнювачів зумовлено наявністю адсорбованих молекул води, кількість яких залежить від вологості навколишнього середовища. Адсорбована вода заважає адсорбції і адгезії епоксидних смол і перешкоджає утворенню міцних хімічних, фізико-хімічних і водневих зв'язків між поверхнею наповнювачів і полімером, особливо при низьких температурах. Адсорбовані на поверхні молекули води створюють нові стани або змінюють параметри існуючих електронних поверхневих станів, а енергетичний спектр поверхні здебільшого визначає характер взаємодій в системі «полімер – наповнювач». Наявність шару поверхневих функціоналів дозволила створити цілий напрям у хімічній технології, який шляхом поверхневої модифікації неорганічних твердих речовин розробляє технологічні передумови для створення нових ефективних органо-неорганічних композиційних матеріалів.

Взаємодія між епоксидним полімером і наповнювачем може відбуватись за різними механізмами. На думку дослідників міжфазні взаємодії у наповнених епоксидних композиціях можуть відбуватись внаслідок як хімічних реакцій, так і за рахунок фізичних зв'язків – від Ван-дер-Ваальсових до водневих, які обумовлюють явища змочуваності, адгезії і утворення граничних або міжфазних шарів.

Наявність полярних функціональних груп у складі молекул епоксидної смоли, модифікаторів, твердників і на поверхні наповнювачів зумовлює широкий спектр зв'язків та взаємодій у системі. Встановлено, що гідроксильні групи в молекулі епоксидіанової смоли виявляють слабкі кислотні властивості. У композиціях вони взаємодіють з гідроксильними групами модифікаторів або наповнювачів лужного характеру. Показано, що кислотно-основні процеси на поверхні розділу фаз відіграють основну роль в процесах структуроутворення композиту. Також виявлено, що інтенсивність дифузійних явищ у наповнених епоксидних композиційних матеріалах визначається кислотної силою гідроксильних груп наповнювачів, в той час як роль об'ємних ефектів невелика [1].

Останні результати експериментальних досліджень показують, що найбільший вклад у міжмолекулярні взаємодії і фізико-хімічні взаємодії на міжфазній поверхні вносять кислотно-основні процеси бренстедівського і льюїсівського характеру (рис. 1).

Якщо мати на увазі слабкі кислоти і основи Бренстеда (гідроксильні ОН-групи), у відсутності полярних розчинників, скоріше за все у епоксиполімерних композиціях відбуваються незавершені кислотно-основні взаємодії. При цьому перехід протону від кислоти до основи, очевидно, не відбувається, а процес завершується на стадії утворення електростатичних або водневих зв'язків, енергія яких

коливається у широких межах. Льюїсівські взаємодії відбуваються між слабкими основами (прості етерні, амініні, амідні групи) та слабкими кислотами (атоми металів з вільною орбітальною). Вплив поверхні наповнювачів на структуру та властивості полімерного композиту здійснюється протягом усього технологічного циклу одержання, які можна поділити на три етапи:

– на першому етапі відбувається вплив на просторову орієнтацію та рух молекул олігомерів і твердників у в'язкотекучому стані композиту (вплив на реологічні властивості);

– на другому – каталітична або інгібуюча дія поверхневих активних центрів на процеси утворення сітчастої структури при переході від в'язкотекучого до склоподібного стану (вплив на реокінетичні властивості та молекулярну будову сітчастого полімеру);

– на третьому – утворення міжмолекулярних взаємодій між функціональними поверхневими групами наповнювачів і полімерною сіткою у склоподібному стані (вплив на просторову орієнтацію фрагментів сітки, надмолекулярну структуру та властивості композитів).



Рис. 1. Моделювання кислотно-основних взаємодій між фрагментом епоксiamінної полімерної сітки та поверхнею кальцій гідроксиду

Комплексний вплив поверхневого шару наповнювачів потребує досліджень на кожному з етапів утворення полімерного композиційного матеріалу. Це створить передумови для моделювання, прогнозування та оптимізації експлуатаційних, фізико-хімічних та інших властивостей наповнених композитів.

В результаті квантово-хімічного моделювання з використанням програмного пакету HyperChem були одержані енергетичні і розмірні параметри молекул та молекулярних комплексів, що включали фрагмент епоксiamінної сітки (ЕП) та гідроксиди металів $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ti}(\text{OH})_4$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Обрані системи надають уявлення про можливі міжмолекулярні взаємодії на поверхні поділу фаз у наповнених епоксiamінних композитах.

Для врахування впливу параметрів дисперсної структури композитів, були розраховані відстані між частинками у наповнених полімерних композитах за формулою: $a=d \cdot [(K/\omega)^{1/3}-1]$, де a – відстань між частинками наповнювача, мкм; d – розмір (діаметр) частинок, мкм; K – коефіцієнт, що характеризує щільність упаковки частинок наповнювача; ω – об'ємна доля наповнювача у композиційному матеріалі (0,1).

Проведені випробування кінетики поглинання наповненими композитами води. Досліджувались залежності приросту маси $\Delta m=(m_0-m) \cdot 100/m_0$ від часу витримки τ зразків при температурі 25 ± 5 °С.

Для вивчення структурних особливостей наповнених композитів використовувались термічні методи термогравіметрії (ТГ) та диференційної скануючої калориметрії (ДСК). При цьому визначались втрата маси зразків у залежності від температури та температура за якої спостерігалася максимальна швидкість втрати маси T_{max} .

Результати моделювання та випробувань наповнених композитів представлені у табл. 1.

З результатів квантово-хімічного моделювання випливає, що здатність гідроксидів металів впливати на конформацію фрагменту епоксиамінної сітки збільшується у ряду: $Ti(OH)_3 < Al(OH)_3 < Fe(OH)_3 < Ca(OH)_2$. Цей ряд збігається з рядом, у якому збільшуються основні (послаблюються кислотні) властивості груп Бренстеда (ОН-груп) з центральними елементами: $Ti^{4+} < Al^{3+} < Fe^{3+} < Ca^{2+}$ [2]. Визначено, що атом кальцію орієнтується до π -електронної хмари бензольного кільця з утворенням донорно-акцепторного зв'язку. При цьому ОН-групи гідроксиду кальцію утворюють водневі зв'язки з ОН-групами залишку молекули епоксидної смоли у сітці (рис. 1).

Отримані результати експериментального дослідження стійкості до води свідчать про суттєвий вплив дисперсних наповнювачів на приріст маси епоксиамінних полімерів після витримки у водних середовищах. Композит ЕП+Ca(OH)₂ відрізняється від інших, і в порівнянні з ненаповненим, виявляє найменшу стійкість. Додавання наповнювача зменшує стійкість композиту до H₂O у 8,5 разів. Очевидно, що це зумовлено тим, що, як було визначено, наявність Ca(OH)₂ впливає на просторову конформацію епоксиамінного фрагменту та усі енергетичні і розмірні параметри сітки. Внаслідок сильних кислотно-основних міжмолекулярних взаємодій між епоксиамінною сіткою і поверхнею Ca(OH)₂, утворюються композити з неоднорідною структурою і нерівномірним розподілом ущільнених областей. Також, наявність сильних міжмолекулярних взаємодій, можливо, є причиною утворення внутрішніх напружень у композиті. Усі ці фактори,

спричиняють зниження стійкості композиту до води. Результати стійкості композитів $\text{EP}+\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{EP}+\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{EP}+\text{Ti}(\text{OH})_4$ є близькими до стійкості ненаповненого полімеру EP. Вплив наповнювачів на стійкість композитів у воді є неоднозначним і не може пояснюватись кислотно-основними властивостями наповнювача. Це може бути пов'язано з тим, що обрані гідроксиди є амфотерними, кислотно-основні поверхневі властивості яких близькі [2]. Таким чином, очевидно, що уявленнє про кислотно-основні властивості наповнювачів для пояснення впливу амфотерних гідроксидів на стійкість композитів до дії води, недостатньо.

Таблиця 1

Результати дослідження

Ком- позит	Результати квантово-хімічного моделювання			Результати експериментальних випробувань		
	$E_{\text{взаєм}}$, кДж/моль	Відстань між молекулами, Å	Відстань між частинками а, мкм	Δm у воді за 4 місяці, %	T_{max} , °C	T, °C при втраті маси 90%
EP	-	-	-	0,59	330	330
EP+ $\text{Al}(\text{OH})_3$	181,9	5,6	56,4	0,71	359	478
EP+ $\text{Fe}(\text{OH})_3$	181,8	3,2-3,9	2,4	0,50	454	517
EP+ $\text{Ti}(\text{OH})_4$	181,9	5,9	8,5	0,56	360	400
EP+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$	288,7	1,7-2,5	30,5	2,61	259	341

При цьому додатково необхідно розглядати вплив параметрів дисперсної структури – питому поверхню, дисперсність (розмір частинок), коефіцієнт упаковки. Ці фактори, як вважається, впливають на структуру, густину та розмір між фазного полімерного прошарку, який зумовлює більшість експлуатаційних і фізико-хімічних властивостей композитів. З результатів розрахунку (табл. 1) видно, що параметр а композитів, який характеризує щільність упаковки наповнювача у полімерній матриці, збільшується у ряду композитів $\text{EP}+\text{Fe}(\text{OH})_3$ (2,4) < $\text{EP}+\text{Ti}(\text{OH})_4$ (8,5) < $\text{EP}+\text{Al}(\text{OH})_3$ (56,4). Цей ряд

збігається з рядом, у якому зменшується стійкість наповнених композитів у воді. В результаті підтверджується припущення про зменшення вірогідності проникнення молекул агресивного середовища з підвищенням щільності упаковки наповнювача у матеріалі, що пов'язано з подовженням дифузійного шляху. Необхідно відмітити, що розрахований параметр a у композиті ЕП+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (30,5) є у 1,8 рази меншим ніж у композиті ЕП+ $\text{Al}(\text{OH})_3$ (56,4). При цьому стійкість до води утричі менша. Цей факт черговий раз підтверджує зроблені раніше висновки. У цьому випадку фактор кислотно-основних властивостей наповнювача переважає. Всі вищезначені закономірності спостерігаються і при співставленні результатів квантово-хімічного моделювання та термічних випробувань композитів (табл. 1) [3].

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що при взаємодії між епоксидною сіткою та поверхнею оксидних наповнювачів у склоподібному стані утворюються не ковалентні низько енергетичні зв'язки. Взаємодії відбуваються між функціональними групами сітчастого полімеру (ОН-групи, бензолні кільця з делокалізованим π – зв'язком) та ОН-групами гідроксильно-гідратного шару поверхні оксидів. Основними факторами, які впливають на характеристики міжмолекулярних зв'язків, конформаційну структуру та стійкість композитів до води і високих температур, є кислотно-основні властивості поверхні, дисперсність і щільність упаковки частинок наповнювача у полімерній матриці.

1. Danchenko, Yu. The acid-base interaction role in the processes of the filled diene epoxy resin structuring / Yu. Danchenko, M. Kachomanova, Ye. Barabash // Chemistry and Chemical Technology. – 2018. – Vol. 12, No. 2. – P. 188–195.

2. Danchenko, Yu. Investigation into acid-basic equilibrium on the surface of oxides with various chemical nature / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Rybka, S. Skliarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 12(88). – P. 17 – 25.

3. Danchenko, Yu. Research of the intermolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides / Yu. Danchenko, V. Andronov, E. Barabash, T. Obigenko, E. Rybka, R. Meleshchenko, A. Romin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6, Issue 12(90). – P. 4–12.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ САМОУЩІЛЬНЮВАНИХ
БЕТОННИХ СУМІШЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ
МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹Дворкін Л.Й., ¹Бордоженко О.М., ²Скрипник М.М., ²Ковальчук Т.В.
(¹Національний університет водного господарства та
природокористування, м Рівне, ²ТОВ «ЮЕЇХЕМІКАЛ», м. Костопіль)

Abstract. *The properties of self-compacting concrete mixtures using fly ash were investigated. The methods of mathematical experiments planning were used to obtain the dependences of such properties on the composition factors.*

Key words: *self-compacting concrete, fly ash, mathematical experiments planning, slump flow, segregation.*

Сучасне монолітне будівництво характеризується широким застосуванням високотехнологічних бетонних сумішей, що здатні без використання зовнішніх механічних впливів заповнювати опалубку або форму, в тому числі складної конфігурації, густоармовану, зберігаючи при цьому зв'язність і однорідність – самоущільнювальні бетони (СУБ, SCC – Self-Compacting Concretes) [1]. Поряд з високою легкоукладальністю такі бетони характеризуються швидкими темпами набору міцності, високими фізико-механічними характеристиками, що дозволяє віднести їх до класу "високофункціональних бетонів" (High Performance Concretes). Це забезпечується за рахунок застосування комплексних модифікаторів, що включають, як правило, ефективні суперпластифікатори, модифікатори в'язкості, активні мінеральні добавки (наповнювачі), прискорювачі твердіння. При цьому, застосування таких добавок як полікарбоксилатні суперпластифікатори, мікрокремнезем, метакаолін, можуть призводити до значного зростання вартості самоущільнюваних бетонів у порівнянні зі звичайними. З іншого боку, використання СУБ дозволяє зменшити затрати за рахунок полегшення умов укладання високорухливої суміші, скорочення термінів будівництва, а також за рахунок можливості зменшення витрат цементу, внаслідок хіміко-мінералогічного модифікування бетонної суміші [2].

Однією з найбільш перспективних добавок для застосування в литих та самоущільнюваних бетонних сумішях є зола-виносу теплових електростанцій. На відміну від інших мінеральних добавок зола-виносу зменшує водопотребу бетонних сумішей або залишає її без зміни.

Досліджували технологічні властивості самоущільнюваних бетонних сумішей з використання золи-виносу різної дисперсності. У дослідях застосовували портландцемент Здолбунівського "ВАТ Волинь-цемент" ПЦ 500 I, золу-виносу Ладиженської ТЕС, кварцовий пісок (0,16...2 мм) і гранітний щебінь крупністю 2-5 мм. У бетонні суміші вводили добавку суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Melflux 2651f. Дослідження виконані із застосуванням математичного планування експерименту. Реалізовувався трьохрівневий п'ятифакторний план типу Na_5 [3]. Варійовані фактори: X_1 (В/Ц) = $0,4 \pm 0,1$; X_2 (витрата води) = 180 ± 10 кг/м³; X_3 (r_n , частка піску в об'ємі піску та щебеню) = $0,41 \pm 0,07$ кг/м³; X_4 (витрата золи D_3 , кг/м³) = 150 ± 100 кг/м³; X_5 (питома поверхня золи S_3 , см²/г) = 3900 ± 1000 кг/м³.

В результаті реалізації експерименту та експериментально-статистичної обробки результатів отримано комплекс наведених нижче поліноміальних моделей, що характеризують діаметр розпливу стандартного конуса, см (Y_1), витрата добавки суперпластифікатора Melflux 2651f (СП), кг/м³ (Y_2), необхідної для отримання самоущільнюваної суміші класів SF1 та SF2, а також параметрів, що визначають однорідність і стійкість бетонних сумішей до розшарування: водовідділення, г/л (Y_3) та розчиновідділення, % (Y_4).

$$Y_1 = 56,05 + 3,39X_1 + 1,39X_2 - 2,84X_3 - 0,5X_4 + 2,78X_5 - 3,07X_1^2 - 3,08X_2^2 + 1,9X_3^2 - 1,07X_4^2 + 0,43X_5^2 + 2,25X_1X_4 + 1,13X_2X_5 + 1,12X_3X_4 - 2,25X_3X_5; \quad (1)$$

$$Y_2 = 3,28 - 0,07X_1 - 0,94X_2 - 1,06X_3 + 0,37X_4 + 0,7X_5^2 + 0,25X_3^2 + 0,14X_4^2 - 0,23X_5^2 - 0,24X_1X_2 - 0,25X_1X_4 - 0,32X_1X_5 - 0,17X_3X_5; \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,37 - 0,35X_1 + 0,51X_2 + 0,75X_3 - 0,56X_4 - 0,45X_5 - 0,15X_1^2 + 0,57X_3^2 - 0,15X_4^2 + 0,23X_5^2 - 0,09X_1X_2 - 0,09X_1X_3 - 0,22X_1X_5 + 0,41X_2X_3 - 0,33X_2X_4 - 0,28X_2X_5 - 0,32X_3X_4 - 0,32X_3X_5 + 0,2X_4X_5; \quad (3)$$

$$Y_4 = 5,65 + 0,94X_1 - 2,48X_3 - 0,63X_4 + 1,28X_5 - 0,43X_1^2 - 0,43X_2^2 + 1,37X_3^2 - 1,23X_4^2 - 1,56X_5^2 - 0,48X_1X_2 + 0,46X_1X_4 + 0,7X_1X_5 + 0,56X_2X_3 - 0,56X_2X_4 + 0,81X_3X_4 - 0,53X_3X_5. \quad (4)$$

Для порівняльної оцінки впливу технологічних факторів на легкоукладальність самоущільнюваних сумішей, може служити модель діаметра розпливу конуса (Y_1). Вплив основних технологічних факторів на легкоукладальність можна простежити і з аналізу моделі необхідної витрати добавки суперпластифікатора (Y_2). Відомо, що

гранулометричний склад золи-виносу, що дозволяє заповнити в бетонних сумішах нестачу зерен, що мають проміжну крупність між цементом і піском, а також гладка куляста поверхня частинок золи, зумовлюють підвищення легкоукладальності жорстких і пластичних бетонних сумішей.

Отримані результати дозволили підтвердити це положення і для самоущільнюваних золівмісних бетонних сумішей. Причому, збільшення водовмісту при незмінних інших факторах призводить до підвищення оптимальної витрати золи. Поряд з тим, як впливає з аналізу моделей, вплив витрати золи на легкоукладальність не може розглядатися без урахування її дисперсності. Аналіз моделей (1 і 2) показує, що вплив дисперсності золи на легкоукладальність СУБ не може бути оцінений однозначно. Крім D_3 , на вплив питомої поверхні золи позначається В/Ц і частка піску в об'ємі піску та щебеню. Також можна зробити висновок, що збільшення питомої поверхні золи-виносу при її оптимальних витратах і високих значеннях В/Ц сприяє підвищенню легкоукладальності СУБ. Зі зменшенням В/Ц позитивний ефект подрібнення золи згасає.

Збільшення дисперсності золи, введеної в оптимальних кількостях при максимальній частці піску (в досліджуваних інтервалах), сприяє підвищенню легкоукладальності самоущільнюваної суміші, при мінімальній частці піску – легкоукладальність погіршується.

Цей факт обумовлений зміною гранулометричного складу золи при її помелі. При помелі золи в першу чергу різко скорочується вміст крупних частинок, що при зниженій частці піску в суміші заповнювачів несприятливо позначається на загальній гранулометрії заповнювачів суміші при підвищеній же частці піску, навпаки, сприяє створенню найбільш сприятливої для досягнення максимальної легкоукладальності безперервної гранулометрії.

Для СУБ одними з найважливіших властивостей, що характеризують їх якість, є водовідділення і розшаровуваність. Аналіз математичної моделі (3) показує, що ефективність добавки золи-виносу зростає зі збільшенням її кількості і зі зменшенням В/Ц. При цьому В/Ц є головним фактором, що визначає водовідділення. Так, при витраті золи 90 кг і В/Ц = 0,3 величина водовідділення становить 0,25 г/л, а зі збільшенням В/Ц до 0,5 водовідділення зростає до 1,45 г/л (рис. 1).

При В/Ц = 0,5 збільшення D_3 від 50 до 150 кг/м³ призводить до зменшення водовідділення від 1,85 г/л до 1,05 г/л. Подальше збільшення D_3 до 250 кг/м³ дозволяє зменшити величину водовідділення до 0,45 г/л.

Позитивний вплив на величину водовідділення самоущільнюваних золівмісних бетонів має, поряд зі збільшенням витрати золи, і

підвищення її дисперсності (рис. 1). Наприклад, при витраті золи 250 кг з питомою поверхнею $2900 \text{ см}^2/\text{г}$ величина водовідділення становить $0,45 \text{ г/л}$, а при збільшенні питомої поверхні до $3900 \text{ см}^2/\text{г}$ величина водовідділення знижується до $0,15 \text{ г/л}$. Таким чином, чутливість водовідділення до витрати золи суттєво зростає в міру збільшення її питомої поверхні, що обумовлює можливість при підвищеному В/Ц використовувати золу при раціональному дозуванні $150 \dots 200 \text{ кг/м}^3$ в якості наповнювача в самоущільнюваних бетонних сумішах після її додаткового подрібнення.

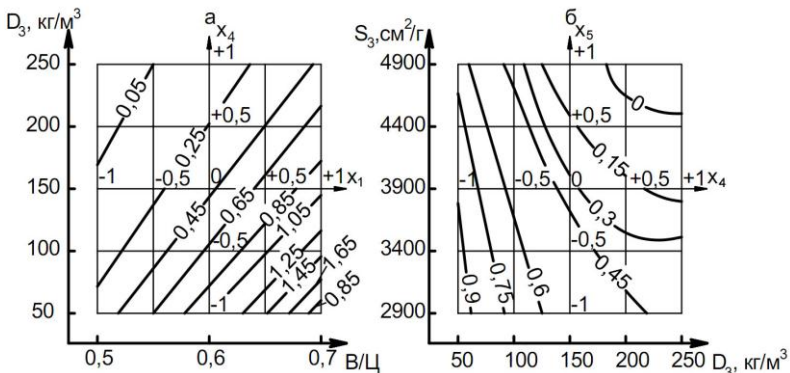


Рис. 1. Ізолнії водовідділення (г/л) самоущільнюваних золовмісних бетонних сумішей:

а – $V = 180 \text{ кг/м}^3$; $r_{II} = 0,41$; $S_3 = 4900 \text{ см}^2/\text{г}$;

б – $V/C = 0,4$; $V = 180 \text{ кг/м}^3$; $r_{II} = 0,41$

На підставі аналізу математичних моделей (3) і (4) можна зробити висновок, що добавка золи-виносу робить позитивний вплив на зниження величини розшаровуваності самоущільнюваної золовмісної бетонної суміші. При цьому слід зазначити екстремальний характер цього впливу, який можна пояснити тим, що оптимальній витраті золи відповідає деяка найкраща гранулометрія суміші.

1. H. Okamura and M. Ouchi. Self-Compacting Concrete / Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 1, 5-15, 2003.

2. Дворкин Л.И., Лушникова Н.В. Высокопрочные бетоны на основе литых бетонных смесей с использованием полифункционального модификатора, содержащего метакаолин. Бетон и железобетон. 2007. № 1. С. 2-7.

3. Дворкин Л.И., Гоц В.И., Дворкин О.Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 432 с.

ГІПСОЦЕМЕНТНОЗОЛЬНІ СУМІШІ ПРИДАТНІ ДЛЯ 3-D БЕТОНУВАННЯ

Дворкін Л.Й., Марчук В.В., Безусяк О.В., Григорчук А.С.
(Національний університет водного господарства та
природокористування)

Abstract. *The report shows the possibility of obtaining fast-hardening fine-grained concrete mixes and concret on the basis of gypsum-cement-ash binder modified with a superplasticizer of the polycarboxylate type, which can be used as working mixes for a 3D printer.*

Keywords: *portland cement, fly ash 3D printer, concret, mortar, strength.*

3D-друк – одна з форм технології адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу [1-2].

Одним з найбільш поширених мінеральних наповнювачів для бетони різного призначення, ефективність якого підтверджена практичним досвідом, є зола-виносу [3-4]. Зола-виносу можна використовувати в якості активної мінеральної добавки в бетонах для адитивних технологій, вона активно впливає на усіх стадіях гідратації і структуроутворення цементних систем, формування структури композиційних будівельних матеріалів, тобто послідовного переходу від коагуляційної структури до утворення просторового кристалічного каркасу.

Для досліджень використано наступні матеріали: будівельний гіпс марки Г-5, портландцемент ПЦ І - 500, зола-виносу Бурштинської ТЕС, суперпластифікатор Melflux 1641F. Експериментальні дослідження проводилися згідно вимог ДСТУ- Б В.2.7-126:2011 та ДСТУ Б.В.2.7-82-99.

Вибір компонентів для виготовлення сумішей для 3D принтеру пояснюється необхідністю забезпечення швидкого зростання міцності в початковий період твердіння за рахунок дії гіпсового в'язучого і суперпластифікатора, а в більш пізньому віці (14-28 діб) - процесів структуроутворення при твердінні портландцементу та золи-виносу.

Витрати води в експериментах визначалися із умови забезпеченості формуємості суміші. Формуємість визначали по здатності суміші видавлюватися із сопла лабораторного 3d принтеру без появи тріщин та

відшарувань по довжині бруса. Термін придатності визначали в хвиликах від моменту замішування до моменту початку тужавлення суміші, при якому не можливе подальше формування її за допомогою 3d будівельного принтеру. Структурну міцність, через 20 хвилин після замішування, визначали максимальним навантаженням, що витримує суміш без деформування та руйнування. Міцність зчеплення між шарами визначалася міцністю на розтяг при розколюванні на межі шарів.

Для дослідження властивостей гіпсоцементнозольних сумішей для 3D принтеру та вибору оптимальних параметрів складу сумішей виконані алгоритмізовані експерименти у відповідності з типовим планом На₅ [5]. Умови планування експериментів представлені в табл. 1, а матриця планування – табл. 2.

Таблиця 1 – Умови планування експерименту

Параметр	Фактор	Рівні варіювання			Інтервал
		-1	0	+1	
Відношення, Пісок/в'язуче*	x_1	0,7	1	1,3	0,3
Вміст портландцементу від маси в'язучого, ПЦ%	x_2	5	10	15	5
Вміст золи-виносу, від маси в'язучого, З %	x_3	5	15	25	10
Вміст добавки суперпластифікатора Melflux, від маси в'язучого, СП %	x_4	0	0,3	0,6	0,03
Водов'язуче відношення	x_5	0,45	0,5	0,55	0,05

* в'язуче=Гіпс Г-5 + ПЦ - І -500 + зола-виносу + Melflux 2651F

Склади сумішей для матриці планування (табл. 2) розраховано на 1 л суміші на кожну точку, при цьому враховано, що $\rho_{в'яз.} \approx \rho_{п} \approx 2,75$ кг/л, де ρ - істинна густина суміші з гіпсового в'язучого, цементу, СП і золи-виносу. Було складено систему рівнянь:

$$\begin{cases} \text{Вода} + (\text{Пісок} + (\text{в'язуче}) / 2,75 = 1 \text{ л} \\ \text{Пісок} / (\text{в'язуче}) = x_1 \\ \text{Вода} / (\text{в'язуче}) = x_5 \end{cases} \quad (1)$$

Підставляючи в систему (1) співвідношення Пісок/в'язуче (x_1) і Водов'язуче (x_5) з даних табл. 2 можна визначити витрату піску, води і в'язучого. Далі, враховуючи значення x_2 , x_3 і x_4 можливо розрахувати витрати всіх компонентів.

На основі експериментальних даних отримано адекватні рівняння регресії початку тужавлення, структурної міцності, міцності на розтяг

при розколюванні у віці 28 діб і стиску у віці 3 та 28 діб сумішей для 3D принтеру (табл.3).

Таблиця 2 – Матриця планування та результати досліджень сумішей

Натуральні значення факторів					Термін придатності, хв	Структурна міцність	Границя міцності, МПа		
Пісок/в'язуче, (x_2)	ПЦ, % (x_2)	Зола, % (x_3)	СП, % (x_4)	В/Вж (x_5)			Р.р. *	Стиск	
								28 діб	Здоби
1,3	15	15	0,06	0,55	23	3550	3,55	5,89	10,47
0,7	5	15	0,06	0,55	17	4520	4,34	7,17	12,73
0,7	15	5	0	0,45	16	5100	4,93	8,10	14,33
1,3	5	5	0	0,45	21	3200	2,80	4,63	8,22
0,7	15	5	0,06	0,55	22	4120	4,39	7,27	12,91
1,3	5	5	0,06	0,55	18	3860	2,27	3,73	6,64
1,3	15	15	0	0,45	17	3950	3,95	6,45	11,53
0,7	5	15	0	0,45	16	5150	5,65	9,36	16,59
0,7	15	15	0,06	0,45	17	5320	5,32	8,75	15,52
1,3	5	15	0,06	0,45	21	3230	3,23	5,35	9,50
1,3	15	5	0	0,55	22	3170	2,72	4,53	7,48
0,7	5	5	0	0,55	19	3820	4,67	7,83	13,75
0,7	15	15	0	0,55	20	3760	4,80	8,00	14,05
1,3	5	15	0	0,55	19	2880	2,88	4,77	8,49
1,3	15	5	0,06	0,45	19	3060	3,06	5,08	9,03
0,7	5	5	0,06	0,45	18	4380	4,38	7,25	12,88
1,3	10	10	0,03	0,50	19	3100	3,10	5,13	9,11
0,7	10	10	0,03	0,50	20	4550	4,55	7,55	13,41
1	15	10	0,03	0,50	16	4220	3,96	6,57	11,66
1	5	10	0,03	0,50	19	3700	3,70	6,13	10,91
1	10	15	0,03	0,50	16	3910	3,91	6,45	11,54
1	10	5	0,03	0,50	18	3760	3,76	6,25	11,11
1	10	10	0,06	0,50	23	3450	3,69	6,15	10,92
1	10	10	0	0,50	17	4140	4,14	6,85	12,17
1	10	10	0,03	0,55	16	4320	3,53	5,82	10,35
1	10	10	0,03	0,45	21	3750	4,77	7,89	14,02
1	10	10	0,03	0,50	22	3730	4,00	6,65	11,82

Примітка - * розтяг при розколюванні

З часом міцність при стиску дрібнозернистих бетонів на основі гіпсоцементнозольного в'язучого зростає від 5,65 до 16,6 МПа. Підвищення міцності в більш пізньому віці (28 діб) пояснюється спільною дією таких компонентів, як портландцементу в кількості 15% і золи – 15%. Ведення СП у кількості 0,03%, дозволяє знизити вміст води та забезпечити збільшення структурної міцності. Збільшення кількості добавки до 0,6% дозволяє далі зменшувати вміст води, але суміші стають більш тиксотропні та не придатні для 3d бетонування.

Таблиця 3 - Рівняння регресії властивостей сумішей для 3D принтеру

Параметри	Рівняння регресії	
Початок тужавлення, хв	$T = 19 + 0,8x_1 + 1,1x_1^2 - 1,0x_2^2 - 1,5x_3^2 + 1,6x_4^2$	(2)
Структурна міцність через 20 хв після замішування, Па	$Pm = 3915 - 597x_1 + 84x_2 + 100x_3 + 18x_4 - 175x_5 - 44x_1^2 + 91x_2^2 - 35x_3^2 - 74x_4^2 + 166x_5^2$	(3)
Міцність на розтяг при розколюванні у віці 28 діб, МПа	$f_{cm}^1 = 3,9 - 0,86x_1 + 0,15x_2 + 0,26x_3 - 0,13x_4 - 0,27x_5 - 0,09x_1^2 - 0,07x_2^2 - 0,06x_3^2 + 0,01x_4^2 + 0,24x_5^2$	(4)
Міцність на стиск у віці 3 доби, МПа	$f_{cm}^3 = 6,6 - 1,42x_1 + 0,27x_2 + 0,42x_3 - 0,21x_4 - 0,45x_5 - 0,14x_1^2 - 0,13x_2^2 - 0,11x_3^2 + 0,02x_4^2 + 0,37x_5^2$	(5)
Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	$f_{cm}^{28} = 11,55 - 2,55x_1 + 0,41x_2 + 0,78x_3 - 0,34x_4 - 0,83x_5 - 0,26x_1^2 - 0,23x_2^2 - 0,20x_3^2 - 0,03x_4^2 + 0,66x_5^2$	(6)

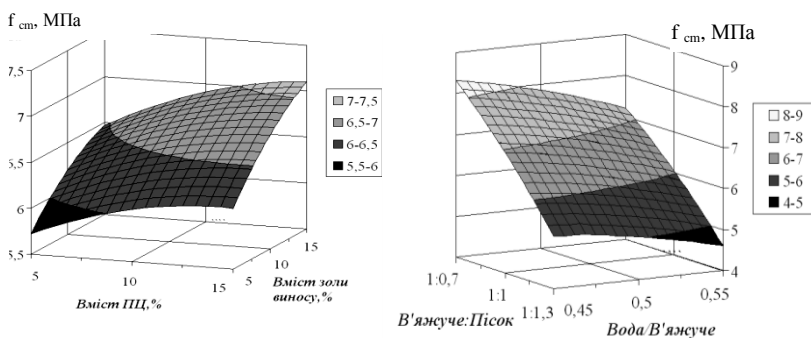


Рис. 1. Графічні залежності міцності на стиск розчинів для 3D будівельного принтеру у віці 3 діб від технологічних факторів

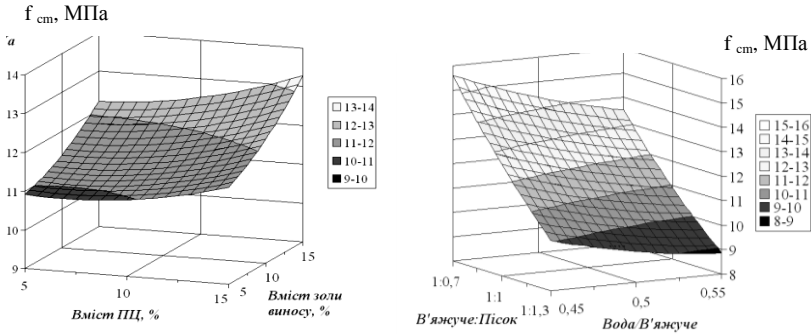


Рис. 2. Залежності міцності на стиск розчинів для 3D будівельного принтеру у віці 28 діб від технологічних факторів

При з амішуванні компонентів суміші з водою утворюється пластичне тісто, яке добре піддається екструзії (формуванню) за допомогою 3D лабораторного принтера. Проведені дослідження показали можливість отримання на основі гіпсоцементнозольного в'язучого модифікованого добавкою гіперпластифікатора на полікарбоксилатній основі швидкотверднучих дрібнозернистих бетонних сумішей та бетонів, які можуть бути використані як робочі суміші для 3D принтера. На основі розроблених розчинових композицій можна виконувати швидкісне зведення будівель та споруд складної форми з мінімізацією витрат матеріалів і використання робочої сили.

1. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй Анализ существующих технологических решений 3d-печати в строительстве DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.863-876.

2. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? Procedia Engineering. 2016. No. 151. Pp. 292-299.

3. Дворкин Л.И. Использование золы-унос ТЭС для приготовления бетонов и растворов при строительстве АЭС / Л.И. Дворкин, И.Г. Пресман – Информэнерго// - М., 1987.- 52 с.

4. Дворкин Л.И. Эффективные цементно-золяные бетоны / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Ю.А. Корнейчук // - Ровно. - 1998. - 195 с.

5. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту /Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. - Рівне: НУВГП, 2011- 174 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ РОЗЧИНІВ

¹Дерев'янюк В.М., ²Кондратьєва Н.В., ³Гришко Г.М.,
³Євтушенко П.Є.

(¹Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

²Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет»;

³Дніпровський державний аграрно-економічний університет)

Abstract. One of many factors impacting the mechanism of hardening reactions is the hard surface area at the interaction of different phases. Changing their ratios affects the morphology of crystals, shape of blocks, and scaffold structure.

Keywords: disperse-reinforced solutions; structure; interface; surface energy; additive, hydration.

Актуальність теми. Зміна співвідношень поверхні розділу твердої і рідкої фаз в процесі гідратації впливає на морфологію кристалів, форму блоків і структуру каркаса [1]. Створення каркаса з найбільш високою міцністю можна досягти, регулюючи величину твердої поверхні і центрів кристалізації, які впливають на первинну просторову структуру шляхом введення модифікаторів. Внутрішні напруження, що призводять до зниження міцності ще не утвореної структури, не виникають внаслідок того, що зрощення блоків відбувається у вільному просторі. Мірою зміни характеристичної функції при постійних параметрах і масах (концентрація) всіх речовин за винятком маси (концентрації) того компонента, кількість якого змінюється в системі є хімічний потенціал [1, 2].

На сьогоднішній день виготовлення конструкцій і виробів на основі мінеральних в'язучих речовин здійснюється із застосуванням дискретних волокон, але теоретичні питання їхнього впливу на морфологію і структуру каркаса, і, відповідно, на властивості матеріалів, є недостатньо вивченими [1, 2].

Мета статті. Створення композицій з підвищеними міцністними властивостями, за рахунок утворення необхідної структури шляхом введенням до складу компонентів дискретних волокон.

Аналіз публікацій. Структура затверділої суміші є результатом процесів перемішування складових суміші і їхніх фізико-хімічних взаємодій. Одними з чинників, що впливають на процес перемішування і технологію укладання є реологічні властивості [2].

В роботах [3, 4] зазначається, що на в'язкість системи значний вплив має міжзерновий прошарок. Пластична деформація є можливою лише завдяки зсувові рідкого середовища, тобто напруга зсуву τ , при якій деформація u буде пропорційною відносній відстані між твердими частинками та рідкою фазою. Таким чином, параметр насичення розчину заповнювачем залежить від співвідношення обсягу твердої і рідкої фаз і визначає ступінь збільшення в'язкості та міцності розчину.

Для армування поризованих композицій можна використовувати волокна різного діаметру - від 1 до 100 мкм. Грунтуючись на властивостях волокон, а саме, на еластичності, довжина волокон може становити від 1,1 до 300 мм. Спосіб розподілу волокон в обсязі істотно впливає на фізико-механічні характеристики компонентів. Найбільш сприятливим фактором є розташування волокон в тілі перегородок пор, що є майже неможливим при армуванні волокнами з високим модулем пружності. Низькомодульні волокна здебільшого розташовуються в товщі перегородки за рахунок більш низької жорсткості. В результаті дослідження закономірностей армування виробів з пористих бетонів дисперсним волокном можна виділити позитивні й негативні сторони цього процесу [5, 6]. До позитивних сторін відносяться: при невеликих значеннях граничної напруги зсуву значно збільшується пластична в'язкість пінобетонної суміші, що призводить до зменшення значень пластичності. Підвищення в'язкості суміші сприяє збільшенню тиску газу в порах, що може призвести до формування поліедричних пор з мінімальною товщиною міжпорових перегородок або до їх ущільнення, тобто створюються передумови виникнення обмеженого стану при гідратації цементу.

Негативними сторонами дисперсного армування поризованих композиційних матеріалів є: необхідність збільшення рідкої фази для зниження в'язкості та збільшення значень граничного напруження зсуву і пластичної в'язкості [7].

Синтетичні волокна мають ряд переваг перед металевою арматурою: значно менша щільність волокон забезпечує збереження низької щільності, а гнучка структура не дозволяє матеріалу розтріскуватися, підвищуючи його міцність. Введення таких волокон у

поризовані суміші дозволяє в 2-2,5 рази збільшити міцність при вигині, щонайбільше в 1,5 рази – міцність при стисненні, в 7-9 разів – ударостійкість вихідних пористих композицій. Поліпшення порогової структури матеріалу в результаті дисперсного армування сприяє зниженню водопоглинання і капілярного підсосу [8], що забезпечує покращення експлуатаційних характеристик виробів і конструкцій.

Фіброве армування майже повністю виключає появу і розвиток усадкових тріщин у процесі твердіння та подальшої експлуатації матеріалу [9].

Результати досліджень. Для визначення впливу поверхні розділу на морфологію кристалів, формування каркасу та структуру затверджених сумішей, проведено ряд досліджень на гіпсових та цементних в'язучих речовинах.

За результатами аналізу встановлено, що через армуючу дію волокон, значну роль має границя розподілу волокно-матриця, активність і величина поверхні. Низькомодульні волокна в силу своїх недоліків (деформації при невеликих навантаженнях, розтягуванні і т.п.) застосовують як вторинне армування, що не заміняє конструктивну арматуру. Вони впливають на процес твердіння суміші і відповідно на властивості затверділого матеріалу [9]. Використання металевої фібри для армування будівельних сумішей досить важко, в силу її конструктивних особливостей.

Введення високомодульних мінеральних (базальтових) волокон здійснювалося в суху суміш, після чого суміш перемішувалася до максимально однорідного стану, з подальшим додаванням води.

В/Ц характеризує рухливість розчину, в свою чергу визначає і сферу його застосування. Основними факторами, що впливають на показники В/Ц є: співвідношення компонентів в суміші, модуль крупності заповнювача, гранулометричний склад, вологість, а також питома поверхня матеріалів.

Результати дослідження впливу на реологічні властивості композиційних щільних і пористих сумішей високомодульних в'язкості-армованих сумішей показали подібність зміни залежностей (рис. 1).

Інтенсивне збільшення В/Т (В/Ц) пов'язано з введенням в суміш базальтового волокна, спостерігається при вмісті портландцементу більше 28%.

Аналіз діаграми показав, що збільшення кількості (високомодульного) волокна з 0,1 до 0,4% в суміші призводить до збільшення В/Ц зі збільшенням в'язкості суміші [8-9].

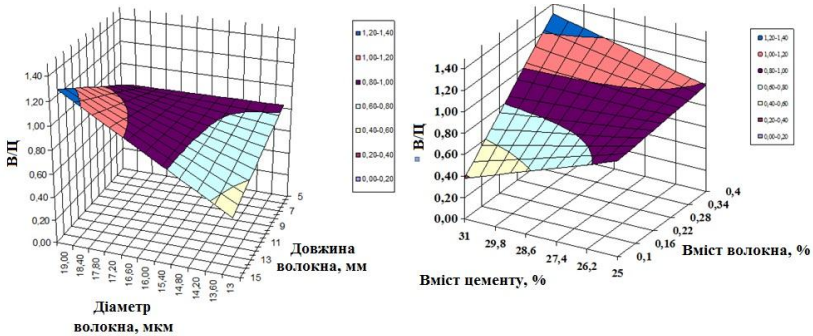


Рис.1. Графіки залежності В/Ц розчину суміші від вмісту цементу і базальтового волокна (а), довжини і діаметру (б) базальтового волокна

На величину В/Ц впливає кількість введеного базальтового волокна, ймовірно це пов'язано з тим, що суміш насичується більш інтенсивно твердою фазою. У даних дослідження максимальної величини В/Ц досягає при максимальному вмісті волокна 0,4%, довжиною понад 9 мм. Це свідчить про те, що система з двофазної переходить в трифазну в межах 6-9 мм для даного діаметра [9]. Волокна таким чином утворюють свій шар. Але існує межа коли вміст волокон не впливає на В/Т (В/Ц), в даних дослідження вміст високомодульних волокон це 0,25% від маси в'язучого.

Значний вплив на В/Т (В/Ц) має протяжність і діаметр дискретних волокон. Збільшення довжини волокон як високо- так і низькомодульних призводить до збільшення В/Т (В/Ц) цементно-піщаного або гіпсового розчину.

Висновок. Аналіз наведених результатів свідчить про те, що окрім розмірних параметрів значний вплив на структуру мають властивості та вид дискретних волокон, а саме, поверхня, її активність і величина. Вплив цих факторів пов'язаний з процесами гідратації системи і формуванням контактного шару волокно-матриця. Активна поверхня збільшує не тільки тверду поверхню розділу, але й впливає на фізико-хімічні процеси твердіння. Зміна величини неактивної поверхні призводить до збільшення або зменшення армуючої дії волокон.

Збільшення діаметра волокна в зв'язку зі збільшенням жорсткості волокон призводить до зростання сил міжчасткового тертя. А також збільшується тертя між шарами розчину. Значний приріст показників

В/Т, внаслідок збільшення діаметра армуючого компонента, спостерігається при вмісті волокон більше критичної маси.

1. Толмачев С. Н., Величенко Е. А., Мисько Т. М. Исследование механизма структурообразования прессованных цементно-песчаных бетонов углеродными наночастицами. *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 61–63.

2. Фишер Х.-Б., Кривенко П. В., Саницкий М. А. Исследование процесса стабилизации свойств гипсовых вяжущих. *Строительные материалы и изделия*. 2013. № 1. С. 3–6.

3. Пунагин В. Н., Деревянко В. Н. Реологические свойства дисперсно-армированных растворов покрытий. *Вопросы химии и химической технологии*. 2001. № 2. С. 72–76.

4. Деревянко В. Н., Пунагин В. Н., Горидько Д. В., Пунагин В. В. Перспективы применения композиционных материалов в строительном производстве. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. № 3. 2004. С. 34–41.

5. Кондратьева Н. В., Шибко М. И., Скидан Л. В. Реологические свойства дисперсно-армированных смесей. *Новини науки Придніпров'я*. № 2. 2006. С. 34–38.

6. Edgington I., Hahnah D. I. Steel fibre reinforced concrete. The effect on fibre orientation of compaction by vibration. *Materiaux et Construction*. Vol. 5, № 25. 1972. Pp. 41–44.

7. Скидан Л. В., Потийко Л. А., Салах Али М. Н. Влияние дисперсного армирования на прочность матрицы. *Хімія і сучасні технології*: тези доповідей III Міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпропетровськ, 2007. С. 230.

8. Волошин В. Ф., Деревянко В. Н., Шаповалова О. В., Кондратьева Н. В. Повышение стойкости технической пены. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. № 6. 2003. С. 14–19.

9. Деревянко В. Н., Деревянко В. Н., Кондратьева Н. В., Клименко Р. В. Химические полимерные волокна для армирования композиционных материалов. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 27. 2004. С. 185–191.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНУ

¹Довгань О.Д., ¹Вировой В.М., ²Довгань П.М.

(¹Одеська державна академія будівництва та архітектури,

²ПП «Портал Юг»)

***Abstract.** The rational compositions of decorative concrete were obtained according to the results of full-scale and computational experiments. The found rational compositions of composite are used in the manufacture of architectural elements which have been exposed to experimental-industrial verification in the decoration of facades of residential buildings and constructions in Odessa.*

***Keywords:** decorative concrete, glass fibre, zeolite, polycarboxylate, experimental-statistical model, strength, architectural elements.*

Вступ. В останні десятиліття декоративні вироби з різних будівельних матеріалів стають невід'ємною складовою для архітектурного оформлення конструктивних елементів будівель і споруд, облаштування садово-паркових чи присадибних територій. При проведенні оздоблювальних робіт в наш час простежується чітка тенденція до зростання потреби в архітектурних елементах виготовлених з декоративного бетону під природний камінь різного походження. Використання елементів декору дозволяє створювати нові архітектурні контексти в будівлях і спорудах, забезпечуючи тим самим їм високу художньо-естетичну виразність. При цьому, важливу роль в будівельній галузі відіграє декоративний дрібно- і тонкозернистий бетон на основі цементного в'язучого. Цінною особливістю яких є висока технологічність – можливість формування та оздоблення архітектурних елементів різними методами.

Проведений аналіз умов експлуатації архітектурних елементів показав, що під час функціонування вони зазнають дії всіх наявних погодних факторів, таких як, багаторазових змін температури, вологості, атмосферного тиску, складу атмосфери тощо. Таку дію погоди слід враховувати при проектуванні складів декоративного бетону призначеного для виготовлення даного виду лицьових виробів.

Для покращення фізико-механічних і підвищення довговічності архітектурним елементам доцільно до складу декоративних бетонів

вводити компоненти, що модифікують й армують дрібнозернисту систему. Перспективним, актуальним та своєчасним представляється використання високодисперсних органо-мінеральних добавок-наповнювачів і певних технологічних прийомів при виготовленні декоративного бетону.

Умови експерименту, постановка задачі, критерії оптимальності.

Дослідження характеристик 27-ми складів декоративного композиту, модифікованого двома групами рецептурних факторів [1], проводилися по 5-ти факторному симетричному плану другого порядку на кубі. Як змінні фактори для 1-ї групи визначено кількість цеоліту X_1 (Z), долі дрібнозернистого піску в суміші з крупнозернистим X_2 (SG) піском і суперпластифікуючої добавки на полікарбоксилатній основі X_3 (MF), а для 2-ї групи – кількість високодисперсних скляних волокон різної довжини X_4 ($F6$) і X_5 ($F12$). Фіксованими компонентами бетону були дозування в'язучого і суміш пісків природної гранулометрії, при їх співвідношенні 1:3.4 по масі розчинної суміші.

Аналіз отриманих результатів досліджень властивостей 27-ми декоративних композитів дозволив встановити, що технологічні, фізико-механічні та експлуатаційні характеристики матеріалу значною мірою залежать від його структурного оформлення. Причому, структура розробленого декоративного матеріалу визначається рівнем пластифікації композицій, видом і вмістом високодисперсних мінеральних наповнювачів (тонко- і волокнистих), а також співвідношенням кварцових зерен дрібного і крупного піску [2, 3].

Оскільки архітектурні елементи виготовляються під природний камінь-піщаник, тож в роботі порівняння властивостей розробленого штучного декоративного каменю проводилось у поєднанні з критеріями, зазначених у ДСТУ Б В.2.7-161:2008 «Плити декоративні на основі природного каменю» і, зокрема, властивих природньому. При цьому, за основу було взято характеристики каменю-піщанику Ямпільського кар'єру (Вінницька обл.).

Порівняння однакових характеристик природного і штучного піщанику продемонструвало, що в загальному задовольняються вимоги до фізико-механічних і експлуатаційних властивостей досліджуваних складів декоративного штучного каменю. Отже, задачею дослідження є оптимізація складів декоративних композитів при забезпеченні нормативних вимог до функціональних показників елементів декору.

Одними із важливих характеристик, у виробничій практиці виготовлення штучних декоративних виробів складної форми є технологічні параметри розчинних сумішей – консистенція, легкоукладальність, а також життєздатність від яких, зокрема, залежить процес їх формоутворення. Тож пошук раціональних складів декоративного композиту проводився і з урахуванням певних вимог до

його технологічних характеристик. Оскільки, досліджені композиції характеризуються середньою густиною $>2000 \text{ кг/м}^3$ і маркою за легкоукладальністю S_4 , тому із технологічних властивостей здійснювався контроль лише за життєздатністю суміші. Таким чином, до дисперсно-армованого декоративного композиту було пред'явлено вимоги по життєздатності композиції $\tau\{P_m=35\} \geq 0.95$ год, відпускній і нормативній міцності, відповідно в термін 7 і 28 діб, $f_{cm,7} \geq 25$ МПа і $f_{cm,28} \geq 50$ МПа. Критеріями оптимальності визначено міцність на розтяг при згині f_{ctfm} (МПа), водопоглинання за масою W_M і пористість W_o (%).

Методологічні основи. Рівні факторів складу, що забезпечують вимоги до критеріїв композиту. Для вирішення задачі дослідження за допомогою «повних» полів критеріїв, описаних ЕС-моделями [4], використовувався графічний метод сполучення ізоповірхней, які відповідають зазначеним вимогам до рівнів $Y = Y_{\text{вим}}$. В результаті чого «повне» поле ділиться на дві області – це область допустимих рішень, де виконуються вимоги до $Y \geq Y_{\text{вим}}$ та заборонену область, що містить склади з рівнями показників композиту $Y < Y_{\text{вим}}$.

На рис. 1 представлено 5-ти факторну діаграму «куби на квадраті» для нормованих критеріїв декоративного композиту з визначеними границями області допустимих рішень (обведена штриховою червоною лінією). Необхідно зазначити, фактори модифікації цементно-піщаної системи (Z , GS і MF) формують ізоповірхні 3-х факторних полів властивостей, що змінюються під впливом фіксованого складу армуючих волокон ($F6$ і $F12$) у вершині та центрі несучого квадрату.

З діаграми видно – область, в якій знаходяться нормовані рівні критеріїв, утворена лише на 4-х кубах «повного» поля діаграми. При максимальних рівнях армування складів композиту коротким і довгим волокнами (верхній правий куб) вимоги до $Y \geq Y_{\text{вим}}$ не виконуються.

Визначення оптимальних співвідношень між факторами складу, для забезпечення гарантованих рівнів технологічних і експлуатаційних характеристик композиту, включаючи критерії ресурсозбереження, найбільш раціонально проводити при спільній реалізації натурних і обчислювальних експериментів. Це дозволяє одночасно побачити, якими значеннями всіх досліджених властивостей характеризується той чи інший склад композиту в області допустимих рішень, і при цьому вибрати із певної кількості (отриманих в межах області) «найкращі».

Аналіз діаграми (рис. 1) показав, що трьох факторні поля критеріїв Y трансформуються під впливом параметрів дисперсного армування ($F6$ і $F12$). П'яти локальним полям діаграми для кожної характеристики Y матеріалу, при фіксованих рівнях волокон X_4 ($F6$) = X_5 ($F12$) = 0, 0.015, 0.03 % або $x_4 = x_5 = -1, 0$ і $+1$ відповідають 3-х факторні моделі загального виду (1).

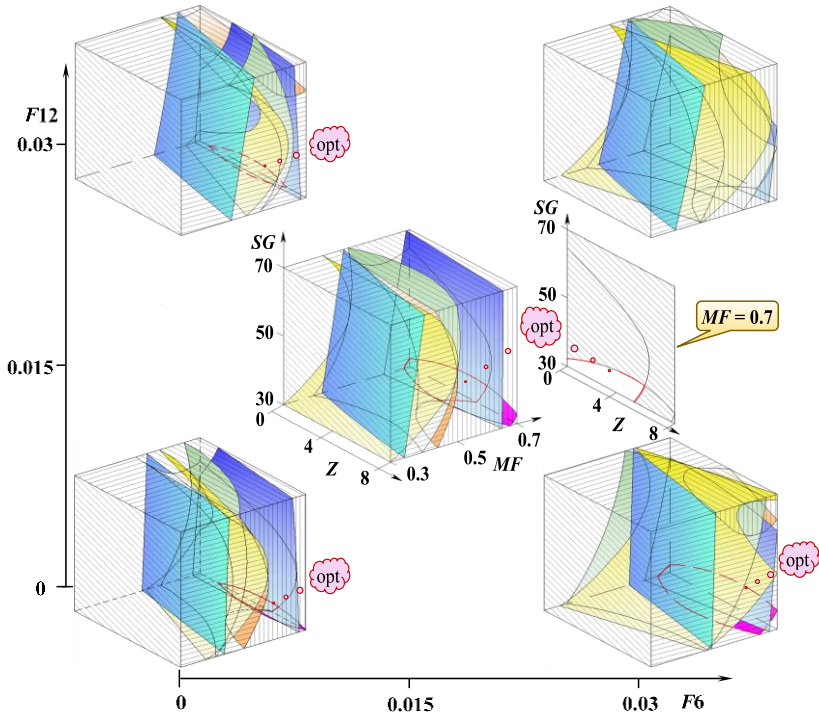


Рис. 1. Розташування на трьохфакторному полі нормованих рівнів критеріїв:

Умовні позначення характеристик декоративного бетону

- життєздатність суміші, $\tau \geq 0.95$ год ■;
- відпускна міцність, $f_{cm,7} \geq 25$ МПа □;
- міцність на стиск ($f_{cm,28} \geq 50$ МПа) у сухому ■, водонасиченому ■, рівноваженому ■ станах;
- міцність при згині ($f_{ctm,28} \geq 7$ МПа) у сухому □, водонасиченому ■, рівноваженому ■ станах;
- область оптимальних рішень - - - ○ opt.

Отже, моделі (1) можуть бути базовими, як для визначення границь допустимої області, так і для вирішення задачі дослідження.

$$\begin{aligned}
 Y = & b_0 + b_1x_1 + b_1x_1^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 \\
 & + b_2x_2 + b_2x_2^2 + b_{23}x_2x_3 \\
 & + b_3x_3 + b_3x_3^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

Визначення в області допустимих рішень раціональних складів бетону, можливо за рахунок використання разом з експериментально-статистичними моделями методу Монте-Карло, для випадкового

сканування рецептурних полів. В 4-х локальних полях (рис. 1) генеровано по 5000 випадкових складів, рівномірно розподілених в області 3-х факторів (X_1, X_2, X_3), нормалізованих до $-1 \leq x_i \leq +1$. До цих випадкових складів додано 8 обов'язкових у вершинах куба. Після, з 5008 складів композиту, відбиралися лише ті, що відповідають вимогам технологічного параметру $\tau\{P_m=35\}$ і характеристикам міцності f_{cm} , а інші – видаляються. Далі пред'являлися вимоги до складів композиту по f_{ctfm} , а потім по водопоглинання за масою W_M і за пористістю (визначено через W_0). В підсумку, в кожній допустимій області, а саме в 4-х трьох факторних полях, отримано певну кількість складів.

Для підвищення надійності декоративного бетону, при виборі раціональних складів враховувалися значення характеристик композиту – щільності, коефіцієнту технологічного впливу K_T на тріщиностійкість. В загальному, «найкращими» величинами всіх властивостей складів матеріалу виділяється допустима область, що утворена під впливом середніх дозувань армуючих волокон $F6 = F12 = 0.015\%$ (центрального куб, рис. 1). За результатами обчислювального експерименту, вибрано три склади декоративного композиту з низькою витратою в'язучого $457-459 \text{ кг/м}^3$ (при максимальній – 490 кг/м^3), що характеризуються водоцементним співвідношенням $В/Ц=0.39$.

Висновок. Комплексне використання моделей на полях властивостей з використанням випадкового сканування методом Монте-Карло дозволило оцінити розмір області допустимих рішень і визначити рівні рецептурних факторів при забезпеченні нормативних вимог до функціональних показників матеріалу виробів. Знайдені раціональні склади дисперсно-армованих декоративних бетонів використано при виготовленні архітектурних елементів, які пройшли дослідно-промислово перевірку при оздобленні фасадів житлових будівель і споруд в м. Одесі.

1. Довгань А.Д., Довгань П.М., Ляшенко Т.В., Хлыцов Н.В. Экспериментально-статистическое моделирование при исследовании дисперсно-армированного песчаного бетона *Моделирование и оптимизация строительных композитов: матеріали Міжнар. наук.-техн. сем. Одеса: ОДАБА, 2018. С. 30-35.*

2. Довгань О.Д., Вировий В.М., Довгань П.М. Водопоглинання, як функція складів декоративних бетонів. *Вісник НУВГП. Сер. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Вип. 38, 2020. С. 148-160.

3. Довгань О.Д., Вировий В.М. Морозостійкість декоративних композитів різного складу. VII Наук.-практ. конференція *«Актуальні проблеми інженерної механіки»*. Одеса: ОДАБА, 2020. С. 104-108.

4. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168с.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВІБРОПРЕСОВАНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА КОМПОЗИЦІЙНОМУ ГІПСОВОМУ В'ЯЖУЧОМУ З ДОБАВКОЮ КЕРАМЗИТОВОГО ПИЛУ

Житковський В.В., Дворкін Л.Й.

(Національний університет водного господарства та природокористування)

***Abstract.** Experimental and statistical models of the "mixture-technology-property" type of vibropressed gypsum expanded clay concrete characteristics were obtained and graphical optimization was performed, which allowed to establish the area of water-resistant composite compositions.*

***Keywords:** gypsum, expanded clay, semi-dry mix, vibropressing, model, water-resistant*

Завдяки можливості ущільнення бетонних сумішей з низьким водовмістом (жорстких та наджорстких) спосіб вібропресування дозволяє отримувати якісні матеріали на низькоактивних в'язучих, для яких суттєвою проблемою є підвищена водопотреба [1]. З метою підвищення водостійкості легких вібропресованих бетонних виробів досліджувалась ефективність гіпсоцементнопуцоланової композиції як в'язучого для такого матеріалу. У якості гідралічного пуцоланового компоненту використовували керамзитовий пил (відхід виробництва керамзиту), якого на великих керамзитових заводах щодоби може утворюватися до 7-8 т керамзитовою пилу. Часто цей відхід додають до сирій глини і повертають у виробництво, але частіше вивозять у відвали. За гранулометричним складом керамзитовий пил містить 25-30% частинок розміром менше 0,14 мм, 60-65% – 0,14-1,25 мм, 5-10% – 1,25-5 мм. Завдяки високому вмісту аморфного хімічно активного кремнезему керамзитовий пил володіє активністю зв'язування вапна (до 115 мг/г). Крім того, до складу керамзитового пилу може входити до 10-15% невивпаленої глини. Завдяки високій активності зв'язування вапна тонкодисперсний або домелений керамзитовий пил можна використовувати в якості активної мінеральної добавки до вапна та

цементу [2].

Дослідження впливу керамзитового пилу, було здійснено шляхом проведення експерименту по плану «суміш-технологія-властивості». Використовували дисперсний керамзитовий пил з циклонів пилоочистки з питомою поверхнею 500 м²/кг. За даними [2] пуцоланова активність такого пилу становить близько 400...450 мг/г.

В якості факторів суміші були взяті наступні:

- v_1 – Гіпс (55...75%);
- v_2 – Керамзитовий пил (10...30%);
- v_3 – Портландцемент (15...35%).

Технологічними факторами були прийняті водо-в'язуче відношення та вміст полімерної гідрофобізуючої добавки CHRYSO®Fuge C:

- x_1 – Водо-в'язуче відношення (В/Вяз) (0,4...0,6);
- x_2 – Вміст добавки (0...1%).

З даними виробника добавка CHRYSO®Fuge C здатна реагувати з вільним вапном в цементі, утворюючи сполуки, що блокують пори. В якості вихідних параметрів були вибрані середня густина (ρ_0 , кг/м³), міцність бетону при стиску у віці 7 (R_{ct}^7 , МПа) та 28 (R_{ct}^{28} , МПа) діб та коефіцієнт розм'якшення (K_p), адекватні рівняння регресії яких наведені нижче:

$$\rho_0 = 1414v_1 + 1199v_2 + 1300v_3 - 547v_1v_2 - 571v_1v_3 + 217,91v_2v_3 + 136v_1x_1 + 15,9v_1x_2 + 33,8v_2x_1 + 49,6v_2x_2 + 36,2v_3x_1 - 12,5v_3x_2 - 30,1x_1x_2 - 94,9x_{12} + 13,7x_{22} \quad (1)$$

$$R_{ct}^7 = 5,8v_1 + 3,7v_2 + 4,1v_3 - 7,3v_1v_2 - 5,6v_1v_3 + 9,1v_2v_3 + 1,6v_1x_1 + 0,5v_1x_2 + 0,17v_2x_1 + 0,47v_2x_2 - 0,33v_3x_1 + 0,42v_3x_2 - 0,38x_1x_2 - 1,62x_{12} - 0,2x_{22} \quad (2)$$

$$R_{ct}^{28} = 5,4v_1 + 6,03v_2 + 10,5v_3 + 7,3v_1v_2 - 17,7v_1v_3 - 7,5v_2v_3 + 1,15v_1x_1 - 1,1v_1x_2 - 0,57v_2x_1 + 0,79v_2x_2 - 0,28v_3x_1 - 1,37v_3x_2 - 0,86x_1x_2 - 1,12x_{12} + 0,78x_{22} \quad (3)$$

$$K_p = 0,68v_1 + 0,78v_2 + 0,72v_3 - 0,89v_1v_2 + 0,43v_1v_3 - 0,61v_2v_3 + 0,16v_1x_1 + 0,07v_1x_2 - 0,036v_2x_1 + 0,04v_2x_2 - 0,05v_3x_1 + 0,039v_3x_2 - 0,02x_1x_2 + 0,13x_{12} - 0,23x_{22} \quad (4)$$

Внаслідок того, що співвідношення між в'язучим і керамзитовим заповнювачем марки 600 було постійним (1:7,7 (за об'ємом)), зміна середньої густини, котра спостерігалась (рівняння (1)), в основному, вказувала на технологічні властивості бетонної суміші і здатність її ущільнюватись у результаті заданих параметрів вібропресування. Основним фактором, який у даному випадку визначає якість формування

є вологість суміші, котра контролювалась через водов'язуче відношення (В/Вяз) і водопотреба самого в'язучого. Водопотреба в'язучого коливалась за рахунок зміни співвідношення між компонентами – будівельним гіпсом, портландцементом та активною мінеральною добавкою (керамзитовим пилом). Практично незалежно від вологості суміші максимальне підвищення густини бетону викликає збільшення вмісту гіпсу, дещо менше – портландцементу. Збільшення вмісту керамзитового пилу внаслідок його пористої структури - середню густину знижує. Помічене коливання середньої густини знаходилось у межах 1020...1550 кг/м³. Вплив показника В/Вяз як було відмічено раніше викликає екстремальних вплив на середню густину. Оптимальні значення В/Вяз, що забезпечують максимальну густину визначають найкращі формувальні властивості бетонної суміші. Збільшення водов'язучого відношення до величини 0,6, а також максимальний вміст гіпсу забезпечують середню густину 1520...1580 кг/м³. Вплив гідробізувальної добавки на середню густину гіпсобетону практично непомітний.

Як видно з моделей (2) та (3), швидкий набір міцності у ранньому віці відбувається за рахунок гідратації гіпсу і з наступним твердінням за рахунок новоутворень, які виникають при гідратації цементу та активної мінеральної добавки. Максимальна міцність на стиск у віці 7 діб складає 7,5 МПа. Як і слід було очікувати, на 7-му добу твердіння гіпсо-цементо-керамзитового в'язучого максимальний вплив на міцність викликає вміст гіпсу. Вплив цементу значно менший, а керамзитовий пил на даному етапі твердіння викликає лише зниження міцності, викликане підвищенням водопотреби гіпсобетонної суміші та підвищенням пористості бетону.

При подальшому твердінні у вологих умовах спостерігається підвищення міцності в композиціях, що характеризуються більшим вмістом портландцементу. Так, зокрема, максимальна міцність на стиск у віці 28 діб складає 11...12 МПа, при цьому вміст портландцементу – 33...35%, а вміст гіпсу мінімальний – 55...60%. Також у даному віці твердіння помітним стає позитивний вплив на міцність при стиску керамзитового пилу, котрий проявляється при його вмісті вище середнього рівня варіювання.

Значення В/Вяз, що викликають максимальну міцність як на 7-му так і на 28 добу чітко корелюють із значеннями, при яких була помічена максимальна густина бетону. На 28-му добу також став помітним позитивний вплив на міцність добавки CHRYSO®Fuge C. Очевидно, що заявлена виробником добавки взаємодія з гідрооксидом

кальцію і зв'язування його у нерозчинні сполуки викликає додатковий ефект структуроутворення.

Аналізуючи математичну модель показника водостійкості (K_p) гіпсобетону слід відмітити, що фактори v_3 (вміст портландцементу) та v_2 (вміст КП) проявляють чітку тенденцію до підвищення водостійкості, а фактор v_2 (вміст гіпсу) викликає зниження даного показника (від 0,86...0,76 до 0,60...0,55). Максимальному підвищенню водостійкості досліджуваного матеріалу сприяє взаємодія компонентів v_2 і v_3 практично в усьому діапазоні співвідношень, тобто коли вміст гіпсу мінімальний. Така тенденція порушується лише при одночасному підвищенні вмісту гідрофобізуючої добавки більше 0,5% від маси в'язучого. Тобто наявність підвищеної кількості добавки полімеру CHRYSO®Fuge C не дозволяє воді руйнувати структуру порового каменю, що також було підтверджено у багатьох роботах.

Як і очікувалось, добавка CHRYSO®Fuge C викликала підвищення водостійкості гіпсобетону. Характер впливу фактора x_2 (вміст добавки-гідрофобізатора) на водостійкість є екстремальним – спостерігається чітка тенденція до підвищення водостійкості при вмісті добавки не більше 0,5...0,6.

У випадку максимального вмісту гіпсу у композиції підвищення В/Вяз гіпсобетону викликає помітне підвищення водостійкості, очевидно внаслідок підвищення щільності при збільшенні вологості.

При підвищенні водостійкості в'язучого за рахунок збільшення цементно-пуцоланової зв'язки вплив В/Вяз на K_p стає менш помітним.

Отримані математичні моделі властивостей вібропресованого гіпсобетону (1..4) дозволяють визначити оптимальний склад для виготовлення водостійких виробів. Для графічної оптимізації було побудовано суміщену діаграму «суміш-технологія-властивість» (рис. 1).

Вихідними даними для проектування складу гіпсобетону є міцність композицій у віці 28 діб та максимальний коефіцієнт розм'якшення. При заданих властивостях визначаємо склад, що має мінімальну вартість. Оскільки із всіх компонентів, що складають композиційне в'язуче, максимальною є вартість портландцементу, то оптимальним складом буде той, в якому вміст даного компонента мінімальний.

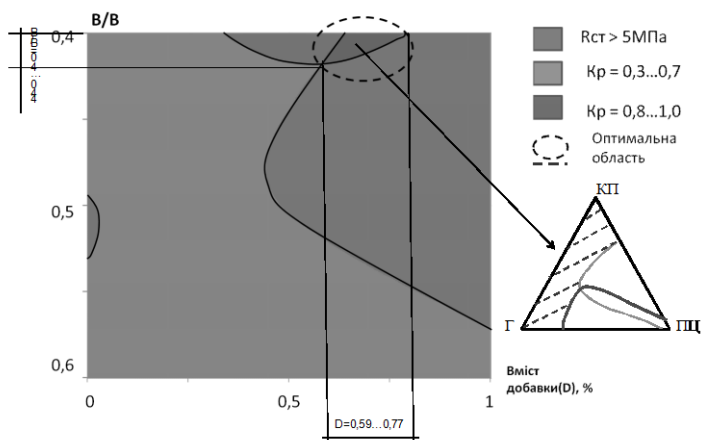


Рис. 1. Багатопараметрична оптимізація складу водостійкого вібропресованого гіпсокерамзитобетону

На суміщеній діаграмі міцності та водостійкості вибрали область, що відповідає заданим значенням для стінових блоків (міцність більше 5 МПа та максимальний коефіцієнт розм'якшення). Таким чином, склад бетону, котрий забезпечує необхідні параметри при мінімальній витраті портландцементу наступний: вміст гіпсу – 55-62%, портландцементу – 15-18%, керамзитовий піл 25-30%, добавки CHRYSO®Fuge C – 0,59-0,77% від маси в'язучого, при видов'язучому відношенні – 0,4-0,44.

1. Дворкин Л.И., Житковский В.В., Кулакевич Р.Н. Вибропрессованный гипсовый бетон / Сучасні технології бетону: Матеріали третьої всеукраїнської науково – технічної конференції. Зб. наук. праць. Вип.72. Київ: НДІБК, 2009. С. 312–318.

2. Рахимов Р. З., Халиуллин М. И., Гайфуллин А. Р., Стоянов О. В. Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие – состав и пуццолановые свойства // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/keramzitovaya-pyl-kak-aktivnaya-dobavka-v-mineralnye-vyazhuschie-sostav-i-puttsolanovye-svoystva> (дата обращения: 14.10.2020).

3. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. / В.А.Вознесенский, Т.В.Ляшенко, Б.Л.Огарков. – К.: Высшая школа, 1989. – 328 с.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РОСЛИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Карєв А.І., Скрипинець А.В., Барабаш О.С.

(Харківський національний університет будівництва та архітектури)

Abstract. *The paper presents a modernized technology for the production of profile products by extrusion from plant-polymer composites based on fillers of plant origin and thermoplastic polymers. At the same time, the features of new plant fillers based on technological waste - buckwheat husk and oats are taken into account.*

Keywords: *technology, extrusion, vegetable waste, modernization.*

В науковій літературі досить широко освітлено методи переробки та технологічні підходи виробництва деревно-полімерних композитів (ДПК) на основі термопластичних полімерів та органічних наповнювачів [1, 2]. Аналіз свідчить, що технології одержання ДПК будівельного призначення активно досліджуються та удосконалюються [3-5].

Одним із видів аграрних відходів, що рідко використовуються та які не мають харчової цінності, є оболонка зерна деяких злакових культур (лушпиння). Основними промисловими способами утилізації лушпиння злакових культур є спалювання у високотемпературних котлах та захоронення на полігонах, що призводить до погіршення стану навколишнього середовища. Ці відходи містять у своєму складі значну кількість целюлози і лігніну та можуть бути альтернативною щорічно поновлюваною сировиною для отримання полімерно-композиційних матеріалів. У роботах авторів [6-8] проведено ряд досліджень, що вказують на актуальність використання технологічних відходів агропромислових комплексів у вигляді лушпиння гречки та вівса в якості наповнювачів для рослинно-полімерних композитів (РПК) та їх перевагу над традиційними наповнювачами – деревним борошном.

Впровадження технологічних ліній отримання РПК та виробів на їх основі потребує деякої модернізації за рахунок нових технічних

рішень. Модернізовану технологічну лінію отримання профільно-погонажних виробів із РПК представлено на рис.1.

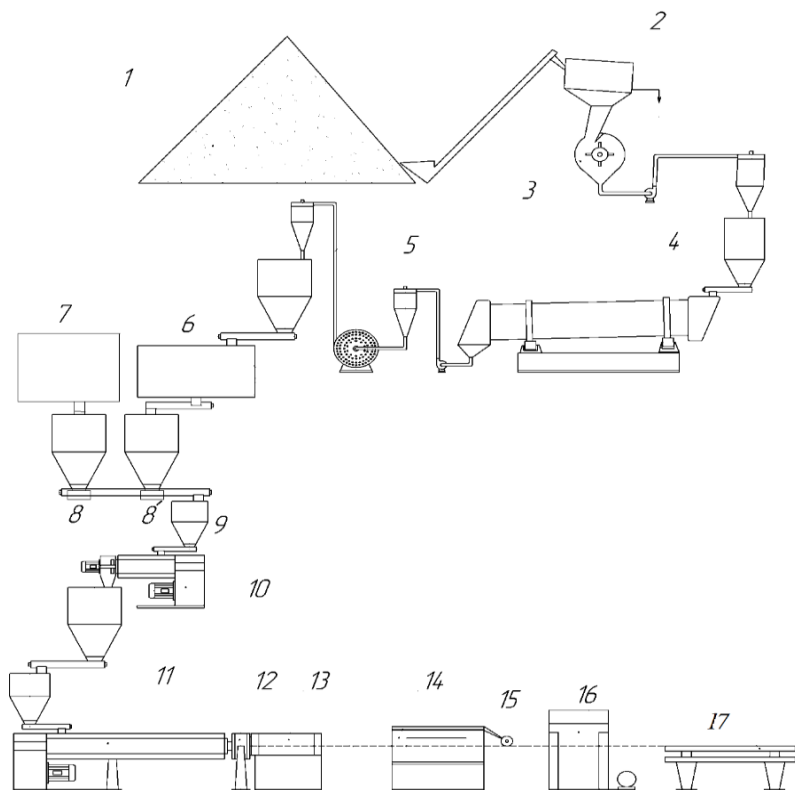


Рис. 1. Модернізована технологічна схема лінії отримання профільно-погонажних виробів із РПК:

- 1 - склад лушпиння; 2 - барабанний відділювач великих домішок оснащений магнітним сепаратором; 3 - молоткова дробарка;
- 4 - сушарка барабанного типу; 5 - дробарка дісємбраторного типу,
- 6 - бункер подрібненого і висушеного лушпиння; 7 - бункер вторинної полімерної сировини; 8, 8' – ваговий дозатор; 9 - бункери готової суміші, 10 – короткошнековий змішувач, 11 - екструдер, 12 - філь'єра;
- 13 - вакуум калібруюче-охолоджувальний пристрій; 14 - пристрій обдування стисненим повітрям; 15 - тягучий пристрій; 16 - апарат для нанесення тиснення; 17 - шліфувальна машина і різальний пристрій

Запропонована технологічна схема процесу виробництва профільно-погонажних виробів з використанням відходів лушпиння гречки і вівса відрізняється тим, що в ній застосовуються додатково молоткова та дисмембраторна дробарки, які забезпечують підвищення насипної щільності наповнювачам і надають їм необхідного фракційного складу. Отже, в результаті проведених досліджень було модернізовано технологію отримання рослинно-полімерних композитів методом екструзії та адаптовано до впровадження на підприємствах агропромислового комплексу України.

1. Вигдорович А.И. Древесные композиционные материалы в машиностроении: справочник /А.И. Вигдорович, Г.В. Сагалаев, А.А. Поздняков. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

2. Абушенко А. Оборудование для экструзии изделий из ДПКТ / А. Абушенко, И. Воскобойников, В. Кондратюк // Дерево.RU–2008. – № 5. – С. 102–107.

3. Шкуро А. Е. Получение и изучение древесно-полимерных композитов с наполнителями из отходов растительного происхождения / А. Е. Шкуро В. В. Глухих, Н. М. Мухин // Лесной вестник. – 2016. – № 3. – С. 101–105.

4. Reutov V. A., Lim L. A., Zabolotnaia A. M., Prishchenko A. N., Anufriiev A. V., Pustovalov E. V. Vliianiie sostava napolnitelia na svoistva lignotseliuloznogo polimernogo kompozitsionnogo materiala // Sb. Mater “Novyie materialy”, 2016, 69–71

5. Реутов В. А. Влияние состава наполнителя на свойства лигноцеллюлозного полимерного композиционного материала // Сб. матер. «Новые материалы». – М.: Интерконтактнаука, 2016. – С. 69–71.

6. Danchenko, Y., Andronov, V., Kariev, A., Lebedev, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Yavorska, D. Research into surface properties of disperse fillers based on plant raw materials / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. Vol. 5. Iss. 12-89. P. 20-26

7. Danchenko Yu., Kariev A., Lebedev V., Varabash E. , Obizhenko T. Physic-Mechanical Properties of Composites Based on Secondary Polypropylene and Dispersed of Plant Waste. – Materials Science Forum. -Vol. 1006. -P. 227-232.

8. Карев А.И. Вплив природи дисперсних органічних наповнювачів на фізико-механічні властивості композитів з вторинного поліпропілену. / Карев А. І., Данченко Ю. М. / Матеріали II Междунар. науч.-технич. интернет-конф. «Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий и промышленных предприятий». – Х.: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2016. – С. 104 – 107.

**МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ПРОГРІВУ
ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ
ПОЖЕЖІ**

¹Ковальов А.І. ²Максимова М.О., ³Малігонова Ю.М., ³Магдій С.М.

(¹Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля
НУЦЗ України, Черкаси

²Національний університет цивільного захисту України, Харків

³Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Київ)

***Abstract.** The analysis of the results of the experimental determination of the temperature from a non-heating surface of the steel plates with a flame retardant under conditions of fire exposure under the hydrocarbon fire temperature mode is made.*

***Keywords:** modelling, flame retardant coating, temperature mode of the hydrocarbon fire.*

Дослідження вогнестійкості сталевих конструкцій і вогнезахисної здатності покриттів таких конструкцій експериментальними методами є найбільш точними, проте становить серйозну проблему, що полягає в трудомісткості проведення експериментів, складності отримання повного спектру інформації, яка відображає поведінку всіх елементів конструкції під впливом пожежного навантаження. Тому з'являється необхідність у використанні методик чисельного комп'ютерного моделювання, що дозволяють отримувати необхідні параметри максимально точно і достовірно для всіх елементів конструкції, що випробовується, з подальшим порівнянням результатів з випробуваннями на вогнестійкість. Цими питаннями займалися і займаються багато вчених, а реалізації зазначеного підходу присвячено велику кількість робіт як у нашій країні, так і за її межами [1-3]. Метою даної роботи було оцінювання вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій в умовах вогневого впливу за температурного режиму вуглеводневої пожежі та розрахункового визначення нестационарного прогріву сталеві пластина з системою вогнезахисту у вигляді вогнезахисного покриття, що спучується, за

допомогою програмного забезпечення ANSYS R17.1, та розрахунок часу досягнення критичної температури прогріву сталевієї пластини (в даному дослідженні прийнято 500 °C) визначеної товщини при заданих умовах випробування.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі завдання дослідження:

- провести серію вогневих випробувань з експериментального визначення температури з необігрівної поверхні сталевих пластин визначеної товщини з вогнезахисним покриттям за температурного режиму вуглеводневої пожежі;

- визначити теплофізичні характеристики досліджуваного вогнезахисного покриття;

- розробити фізичну та комп'ютерну моделі в програмному середовищі ANSYS R17.1, яка б точно і достовірно відтворювала процеси, що відбуваються в системі «сталевіа пластина – вогнезахисне покриття – теплоізоляція» при її нагріванні в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі. При цьому науково обґрунтувати параметри моделі, які задаються при розрахунковому визначенні часу прогріву такої системи при заданих умовах: початкові умови, граничні умови з обігрівної та необігрівної поверхонь, властивості матеріалів системи (теплопровідність покриття та сталі, теплоємність покриття та сталі, коефіцієнт температурного розширення для сталі і т.д.);

- порівняти результати експериментального визначення температури з необігрівної поверхні сталевих пластин з вогнезахисним покриттям в умовах впливу вуглеводневого температурного режиму пожежі з результатами моделювання.

Для цього було сплановано та проведено експерименти по визначенню температури з необігрівної поверхні сталевієї пластини з вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за температурним режимом вуглеводневої пожежі. Експерименти проводили із застосуванням металевих пластин зі сталі Ст. 3 розмірами 500 мм×500 мм×5 мм [1].

За експериментальними даними вимірювання температури сталевих пластин та температури в печі шляхом розв'язання обернених задач теплопровідності визначали теплофізичні характеристики досліджуваного вогнезахисного покриття. При цьому застосовували таку математичну модель, яку побудовано для прийнятої фізичної моделі теплового стану в системі «вогнезахисне покриття – сталевіа пластина». При розв'язанні теплотехнічної задачі визначали залежність температури сталі від часу вогневого впливу за температурним режимом вуглеводневої пожежі і використовували

математичну модель процесу теплопровідності в одновимірній нелінійній постановці із застосуванням чисельного методу розв'язання за неявною кінцево-різницевою схемою апроксимації.

Проведено розрахунки розподілу температури в перерізі сталеві пластина з вогнезахисним покриттям методом скінченних елементів при режимі вуглеводневої пожежі. Для цього було побудовано скінчено-елементну модель системи «сталеві пластина-вогнезахисне покриття» в програмному комплексі ANSYS R17.1.

Отримані температури порівнювали з даними експериментального визначення температури сталевих пластин з вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за температурного режиму вуглеводневої пожежі. В результаті встановлено, що експериментальні дослідження і чисельний аналіз в програмі ANSYS R17.1 для перших 5 хвилин досить суттєво відрізняються у всіх контрольних точках, проте в подальшому ця відмінність стабілізується, і аж до закінчення експерименту не перевищує 10 %, а становить близько 7 %, що можна вважати прийнятним результатом [4].

В результаті проведеного дослідження запропоновано підхід до визначення меж вогнестійкості вогнезахиснених сталевих конструкцій, що ґрунтується на експериментальному визначенні нестационарного прогріву сталевих пластин (зразків зменшених розмірів) за умов випробувань при температурному режимові вуглеводневої пожежі.

1. Kovalov, A., Otrosh, Y., Vedula, S., Danilin, O., Kovalevska, T. (2019). Parameters of fire-retardant coatings of steel constructions under the influence of climatic factors. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 46–53.

2. Kovalov, A., Slovinskyi, V., Udianskyi, M., Ponomarenko, I., Anszczak, M. (2020) Research of fireproof capability of coating for metal constructions using calculation-experimental method. *Materials Science Forum*, 2020, 1006 MSF, 3–10.

3. De Silva D., Bilotta A., Nigro E. Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. *Construction and Building Materials*. 2019, 205, 232–244.

4. Ковальов А.І. Моделювання теплового стану сталевих конструкцій за температурного режиму вуглеводневої пожежі / А.І. Ковальов, Ю.А. Отрош, В.І. Томенко // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. – Х.: НУЦЗУ, 2020. – № 31. – С.187–197.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОМПОЗИТА

Колесников А.В., Керш В.Я., Ляшенко Т.В., Замула М.А.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Abstract. *This work considers the results of modeling and optimization of the operational properties of heat and sound insulation material with a combined filler.*

Keywords: *composite material, combined filler, modeling, optimization*

Одним из видов строительных композиционных материалов, активно применяющимся в строительной практике, являются многофункциональные материалы комбинированного назначения, обладающие теплоизоляционными свойствами и высоким уровнем звукоизоляционных характеристик как для ударного, так и воздушного шума.

Среди методов получения таких составов наиболее целесообразен вариант использования комбинированного заполнителя, в котором каждый из компонентов потенциально обеспечивает оптимальность состава по какому-либо конкретному свойству [1]. В качестве наполнителей были выбраны гранулированный пенополистирол и пеностекло, а также пробковая крошка. В рассматриваемом материале полистирольные гранулы формируют теплозащитные свойства, гранулированное пеностекло и пробковая крошка представляются компонентами, которые способствуют рассеянию и поглощению звуковой энергии.

Матричный материал для рассматриваемого композита, следуя его целевому назначению, должен характеризоваться высоким уровнем прочностных характеристик и водостойкостью. Кроме того, он должен содержать недорогие, экологически безопасные компоненты. Таким требованиям удовлетворяют гипсо-цементно-песчано-цементные вяжущие и их вариация – золо-гипсо-цементное вяжущее [2].

В результате изучения литературных данных и предварительных исследований выбраны следующие независимые факторы – доля заполнителей в их смеси: пенополистирола («Полистирол») – X_1 , пробковой крошки («Пробка») – X_2 , гранулированного пеностекла («Пеностекло») – X_3 , а также золо-цементное отношение («Зола») – X_4 . Структура плана эксперимента вида «смесь-смесь» с фиксированным

суммарным содержанием заполнителей (треугольник) и изменяющимся золо-цементным отношением, схематически отображена на рис. 1.

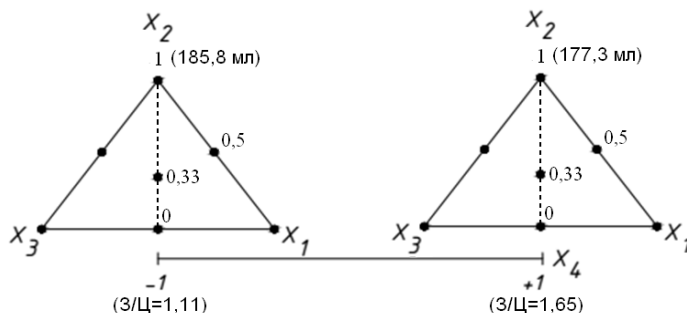


Рис.1. Структура планированного эксперимента «смесь-смесь». Указаны уровни варьирования для X_2 ; для X_1 и X_3 – они симметричны.

Согласно разработанному плану изготовлены 28 образцов (по 3 образца в каждой точке плана). Изготовленные образцы испытаны на прочность при сжатии R_c , МПа и при изгибе R_b , МПа; определена теплопроводность λ (Lambda, Вт/(м·К)), звукопроницаемость для воздушного (Air noise) и ударного шума в относительных единицах (Blow noise), коэффициент размягчения K_r и индекс водостойкости K_v .

На основе полученных экспериментальных данных построены ЭС-модели, приведенные в таблицах 1 и 2. Графические отображения некоторых сведены в табл. 3. Эти зависимости представляют собой линейные по X_4 и квадратичные по X_1 , X_2 и X_3 выражения, зависящие от кодированных значений соответствующих факторов.

Таблица 1

ЭС-модели плотности, прочности, теплопроводности

Вид модели	$D =$	$R_c =$	$R_b =$	$\text{Lambda} =$
	$+938 * X_1$	$+5.43 * X_1$	$+0.59 * X_1$	$+0.22 * X_1$
	$+1100 * X_2$	$+6.93 * X_2$	$+0.90 * X_2$	$+0.25 * X_2$
	$+1160 * X_3$	$+9.93 * X_3$	$+0.98 * X_3$	$+0.29 * X_3$
	$+56 * X_3 * X_4$	$+1.97 * X_3 * X_4$	$-0.33 * X_1 * X_3$ $-0.56 * X_2 * X_3$ $+0.091 * X_3 * X_4$	$+0.028 * X_3 * X_4$
R-Squared	0.8077	0.9000	0.9294	0.8261
Adj R-Squared	0.7500	0.8700	0.8852	0.7739
Pred R-Squared	0.6314	0.7872	0.7733	0.5999
Adeq Precision	12.228	18.443	15.842	13.573

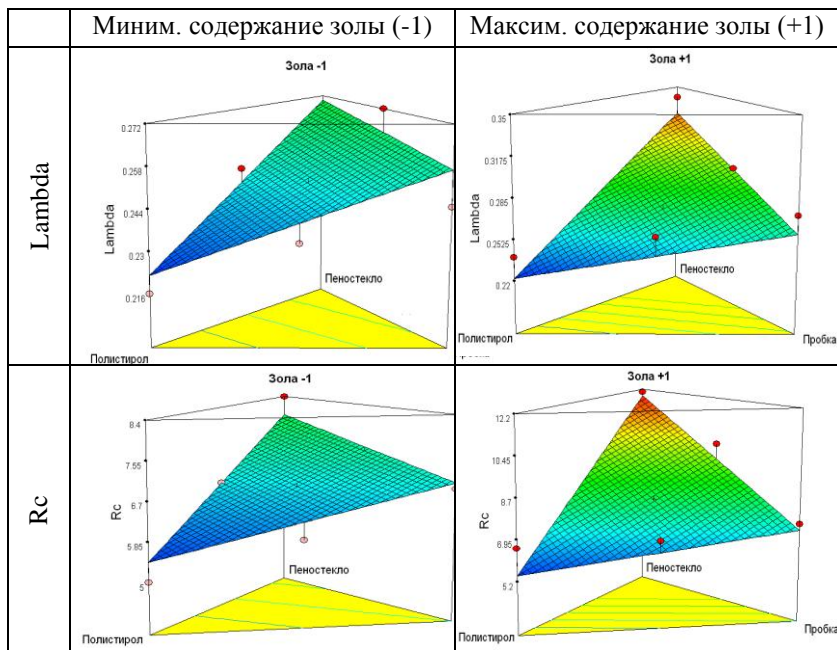
Таблица 2

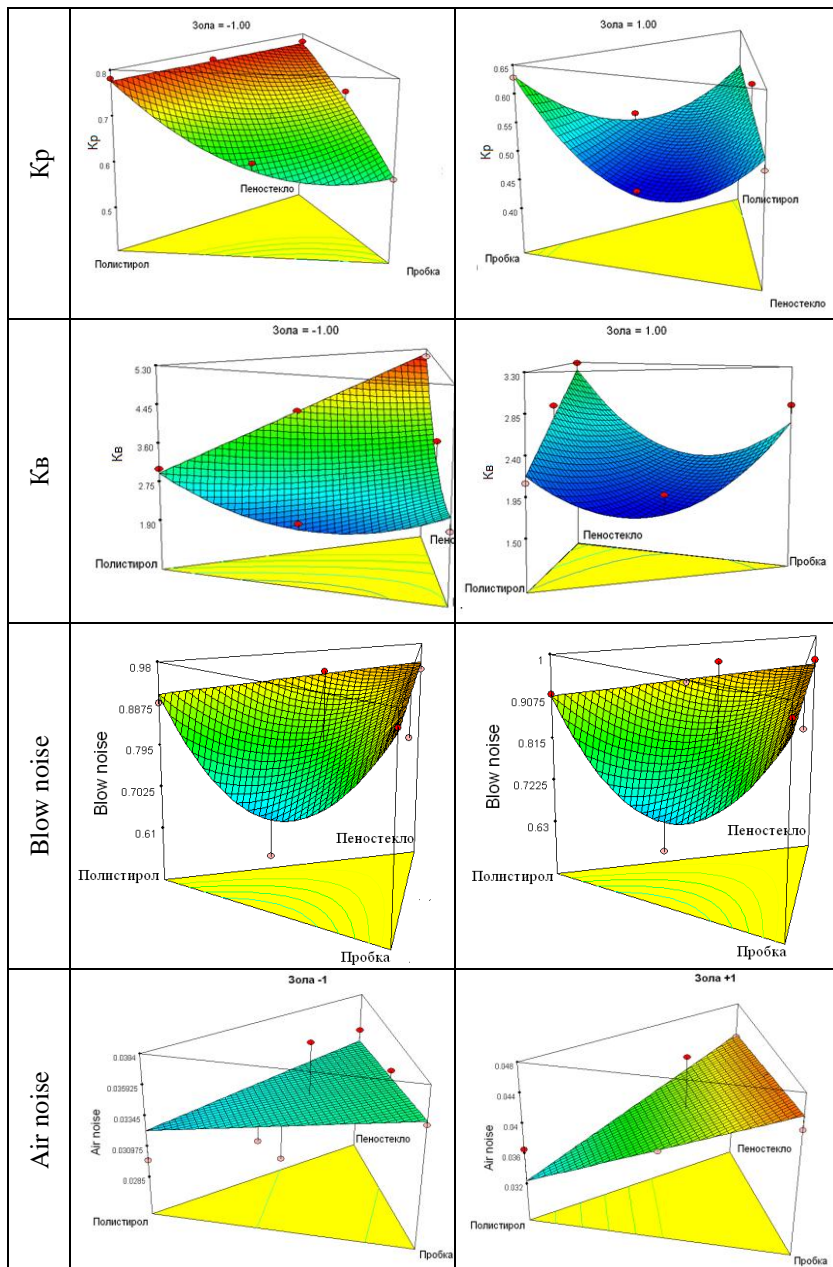
ЭС-модели воздушного и ударного шума, коэффициента размягчения
и индекса водостойкости

Вид МОДЕЛИ	Air noise =	Blow noise =	К _Р =	К _В =
		+0.03240 * X1 +0.04043 * X2 +0.03923 * X3 + 0.0047 * X2 * X4 + 0.0046 * X3 * X4	+0.910 * X1 +0.931 * X2 +0.938 * X3 -0.906 * X1 * X2	+0.68 * X1 +0.61 * X2 +0.65 * X3 -0.35 * X1 * X2 -0.096 * X1 * X4 -0.24 * X2 * X3 +0.020 * X2 * X4 -0.11 * X3 * X4 -0.29 * X2 * X3 * X4
R-Squared	0.6706	0.5563	0.9656	0.9328
Adj R-Squared	0.5242	0.4232	0.9106	0.8752
Pred R-Squared	0.3954	0.3118	0.6781	0.7776
Adeq Precision	5.598	5.149	12.323	14.890

Таблица 3

Графические образы ЭС-моделей эксплуатационных свойств





Приведенные экспериментально-статистические модели могут быть интерпретированы вербально. Например, модель теплопроводности (табл. 1) и ее графическое отображение (табл. 3) показывает, что теплопроводность растет с увеличением содержания золы. Наименее теплопроводными оказываются образцы композита с пенополистиролом. Наибольшее значение индекса водостойкости K_v наблюдается при минимальном содержании золы ($X_4=-1$) и максимальном содержании пеностекла из-за высокой стойкости адгезионных контактов «матричный материал – пеностекло» и из-за сложного рельефа его поверхности. Кроме этого, пробковый наполнитель способен набухать в присутствии воды, что усиливает тенденцию к разрушению материала под нагрузкой. Наименьшей способностью проводить ударный шум обладает материал с примерно одинаковым содержанием пробки и полистирола из-за уменьшения толщины перегородок матричного материала, по которому преимущественно распространяется ударный шум, и синергизма участия частиц пробки и полистирола в рассеянии энергии деформации и превращении ее в тепло.

Численная многокритериальная оптимизация позволила определить оптимальные составы; примеры некоторых из них приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оптимальные составы тепловозвукоизолирующего композита

№	Поли стирол	Пробка	Пено стекло	Зола	D	Rc	Rb	Lambda	Air noise	Blow noise	Kp	Kv
1	0,631	0,009	0,360	-1	1000	6,359	0,630	0,240	0,033	0,916	0,774	3,732
2	0,598	0,042	0,360	-1	1005	6,410	0,638	0,241	0,033	0,899	0,761	3,630

В рассматриваемом композите комбинированные наполнители, при оптимальном их количественном соотношении, проявляют синергизм положительных эффектов в отношении ряда эксплуатационных свойств: понижение плотности и теплопроводности, повышение прочности и водостойкости, улучшение акустических характеристик.

1. Керш В.Я. Подбор составов теплоизолирующих композиций / В.Я. Керш, А.В. Колесников, М.А. Замула // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття», Одеса, 2020. - С. 39-41

2. Коровяков В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве / Химия современных строительных материалов. - 2003. – вып. № 4. - С. 18-25.

СТОСОВНО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ В БЕТОНІ

Колохов В.В., Сопільняк А.М., Тимошенко О.А., Колохов О.В.

(Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»)

***Abstract.** The obtained experimental data confirm the need to improve the method of measuring the speed of ultrasound when determining the physical and mechanical characteristics of concrete using ultrasonic devices that use point contact between the concrete surface and the propagator converter of ultrasonic vibrations.*

***Keywords:** concrete, ultrasonic speed, point contact.*

Зазвичай останнім часом прилади ультразвукового контролю використовують точковий контакт. Використання такого методу проведення вимірювань в нормовано ДСТУ Б В.2.7-226:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності». Відповідно до цього нормативу необхідно проводити тарування за для встановлення відповідності між швидкістю ультразвукових коливань (УЗК) та міцністю бетону. Під час експертного визначення міцності бетону не завжди є можливість використати контрольні зразки, які були попередньо виготовлені. Згідно ДСТУ Б В.2.7-223:2009 «Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій» тарування необхідно проводити кожного разу, як змінюється склад бетону. Зазвичай попередня інформація про склад бетону відсутня та не для всіх конструкцій існує можливість відбору таких зразків. Спираючись на попередні дослідження [1-4], були виконання вимірювання швидкості УЗК (рис. 1.) в бетоні за схемами, які наведено на рисунку 2.

Для експерименту були використані зразки з дрібнозернистого бетону у віці більше року.

Під час дослідження для вимірювання міцності будівельних матеріалів використовувався вимірювач «Novotest ИПСМ-У».

Під час вимірювань змінювали зусилля притискання приладу до поверхні бетону. Максимальне значення зусилля притискання обмежувалось рівнем 10 кг, який передбачено інструкціями з експлуатації ультразвукових приладів [5, 6].

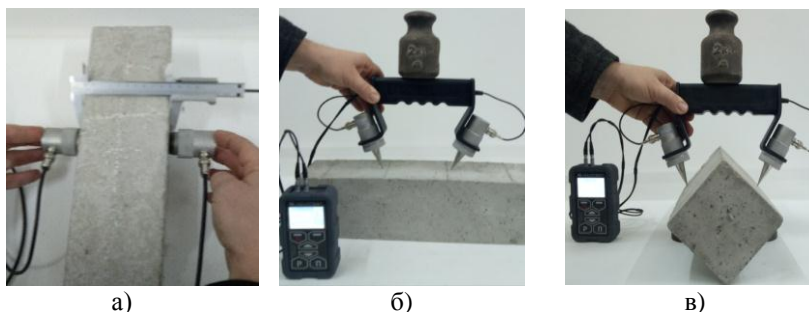


Рис. 1. Вимірювання швидкості УЗК:

а – наскрізне прозвучування; б – поверхневе прозвучування (точковий контакт); в - наскрізне прозвучування (точковий контакт)

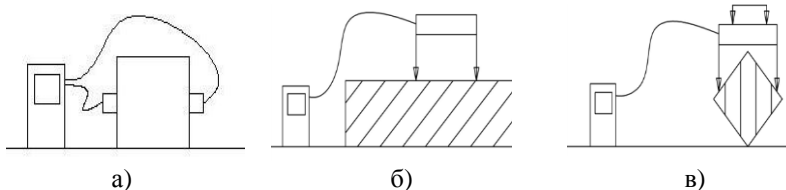


Рис. 2. Схеми вимірювання швидкості УЗК:

а – наскрізне прозвучування; б – поверхневе прозвучування (точковий контакт); в - наскрізне прозвучування (точковий контакт)

За результатами вимірювань зафіксовано наступне:

- При наскрізному прозвучуванні (площинний контакт) швидкість УЗК практично не залежить від зусилля притискання. Відмінність середніх значень швидкості при зростанні зусилля притискання від 0 до 10 кг змінюється на 2,3..3,4%.
- При поверхневому прозвучуванні (точковий контакт) швидкість УЗК залежить від зусилля притискання та від місця розташування приладу на поверхні бетону. Зростання зусилля притискання від 0 до 10 кг швидкість УЗК зростає на 19,5-22,5%.
- При наскрізному прозвучуванні (точковий контакт) зростання зусилля притискання від 0 до 10 кг швидкість УЗК зростає на 42,1-44,0%.

• Значення швидкості УЗК при наскрізному прозвучуванні (площинний контакт) знаходиться в межах інтервалу швидкості УЗК при наскрізному прозвучуванні (точковий контакт).

Залежність «швидкість УЗК – зусилля притискання приладу до поверхні бетону» при точковому контакті має екстремальний характер. В залежності від типу прозвучування положення екстремуму залежності змінюється. Для наскрізного прозвучування (точковий контакт) екстремум відстежується при більшому на 1,5 кг зусиллі притискання.

Порівняння отриманих результатів показує, що, за певних умов проведення вимірів, можливо визначення швидкості УЗК при точковому контакті без подальшого порівняння із наскрізним прозвучуванням. Результати дослідження буде використано для удосконалення методики визначення властивостей бетону [7].

1. Колохов В. В., Кожанов Ю. О., Зезюков Д. М. Вплив рівня напруги у бетоні конструкцій на швидкість ультразвуку. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. № 1. 2019. С. 49–57.

2. Колохов В. В., Колохов О. В. Зміна часу поширення ультразвукових коливань у бетоні за зміни умов проведення вимірювань. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. № 2. 2019. С. 96–105.

3. Колохов В. В., Колохов О. В. Деякі аспекти вимірювання часу поширення ультразвукових коливань у бетоні. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. № 3. 2019. С. 58–65.

4. Колохов В. В., Сопільняк А.М., Смирнов А.С. Вимірювання швидкості ультразвуку під час визначення технічного стану стійок естакад технологічних трубопроводів. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. № 5. 2019. С. 49–56.

5. Измеритель прочности бетона и стройматериалов Novotest ИПСМ / Novotest. Приборы контроля и качества : каталог // ООО НТЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 26 с. – Режим доступа: https://novotest.ua/media/novotest/novotest_catalogue_rus.pdf

6. Novotest. Руководство по эксплуатации. Измеритель прочности Novotest ИПСМ / ООО НТЦ «Промышленное оборудование и технологии». – Новомосковск. – 2012. – 37 с.

7. Колохов В. В. Формализация процедуры определения физико-механических свойств бетона и её аппаратное обеспечение / В. В. Колохов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Вып. 69. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – С. 231–236.

**БРАХУВАННЯ ЗМІНИ Ц/В ПРИ ОЦІНЦІ ВПЛИВУ
СКЛАДУ МОДИФІКОВАНИХ БЕТОНІВ
ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ НА ЇХ МІЦНІСТЬ**

Кровяков С.О., Мішутін А.В., Кінтя Л.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Abstract. The influence of composition and C/W of mixture on concrete strength has been studied. A four-factor experiment was performed. The remains of the correlation model of the influence of C/W on strength are analyzed. A numerical experiment made it possible to determine the influence of composition factors on strength without taking into account changes in the C/W of mixture.

Keywords: *strength, road pavement, cement concrete, fiber, metakaolin, superplasticizer, C/W ratio.*

Завдання підвищення міцності та довговічності бетонів жорстких покриттів автомобільних доріг залишається актуальним, тому що його вирішення дозволяє подовжити міжремонтні інтервали і знизити витрати на утримання доріг в процесі експлуатації. Вирішити завдання можливо за рахунок застосування комплексних модифікаторів: хімічних добавок, що мають пластифікуючий і прискорюючий ефект, а також активних мінеральних добавок і дисперсного армування.

Дослідження властивостей бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів проводилися за оптимальним 4-х факторним планом [1]. Варіювалися наступні фактори складу: X_1 , портландцемент від 400 до 500 кг/м³; X_2 , поліпропіленова фібра від 0 до 2 кг/м³; X_3 , метакаолін від 0 до 30 кг/м³; X_4 , добавка полікарбоксилатного типу (суперпластифікатор з ефектом прискорення твердіння) Soragl ExpertSuid-5 від 0,6 до 1%. Виходячи з умов експерименту рухомість сумішей була постійною S2, відповідно змінювалося В/Ц суміші та зворотна величина – цементно-водне відношення (Ц/В). Це вплинуло практично на всі властивості бетонів, і в першу чергу – на міцність. Бажано врахувати вплив Ц/В як структурного фактора в комплексі з варійованими за планом факторами складу для більш об'єктивного виявлення даного впливу [2-4]. У таблиці 1 показана ступінь

взаємозв'язку міцності на стиск і міцності на розтяг при згині досліджених бетонів жорстких дорожніх покриттів з Ц/В суміші. З неї випливає, що гіпотезу про лінійний зв'язок між Ц/В відношенням суміші і міцністю бетону можна припустити з ризиком не більше 1%.

Таблиця 1
Взаємозв'язок Ц/В бетонної суміші і міцності бетонів

Показник	Міцність на стиск $f_{ck,cube}$ (МПа)	Міцність на розтяг при згині f_{ctk} (МПа)
Діапазон змін	41,8...66,1	6,97 - 9,22
Коефіцієнт кореляції $r_{\{Ц/В, Y\}}$	0,872	0,647
Кореляційна модель $Y_{\{Ц/В\}}$	$1,65+21,85 \times Ц/В$	$4,658+1,361 \times Ц/В$
Діапазон абсолютних залишків від кореляційної моделі ΔY	-7,89...4,07	-0,924...0,860

На рис.1 показана залежність міцності на стиск і міцності на розтяг при згині бетону від Ц/В і відображені лінійні кореляційні моделі $Y_{\{Ц/В\}}$, наведені у таблиці 1. Точність прогнозу міцності бетону за кореляційною моделлю $Y_{\{Ц/В\}}$ у кожній експериментальній точці можна охарактеризувати абсолютними відхиленнями $\Delta\{Y\}$ – різницею між експериментальним значенням міцності та розрахунковим, тобто $\Delta\{Y\} = Y_{експ} - Y_{розра}$ [3,4]. Також існує метод оцінки точності прогнозу відносними залишками $\eta\{Y\}$ [2], але абсолютні відхилення мають розмірність, яка співпадає з розмірністю показника якості (в даному випадку – в МПа), за рахунок чого є більш зручними [4]. Такий метод аналізу властивостей бетону з врахуванням впливу факторів на Ц/В суміші був запропонований в роботах В.А. Вознесенського [2,5].

Діапазони абсолютних залишків від кореляційних моделей для міцності на стиск і міцності на розтяг при згині наведені в таблиці 1. Ці відхилення не залежать від Ц/В суміші, але на них впливає варіація чотирьох факторів складу. Тобто абсолютні відхилення $\Delta\{Y\}$ характеризують вплив фактора на міцність поза його впливу на Ц/В. Цей вплив факторів складу описується власними ЕС-моделями $\Delta\{Y\}$ ($i=1, \dots, 4$) які можна об'єднати з лінійною моделлю $Y_{\{Ц/В\}}$ у вигляді моделі-суми:

$$Y = \{a_0 + a_1(Ц/В)\} + \Delta\{Y\}(x_i) \quad (1)$$

Таким чином, побудовані у вигляді (1) моделі-суми для міцності на стиск і міцності на розтяг при згині бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів відповідно мають вигляд:

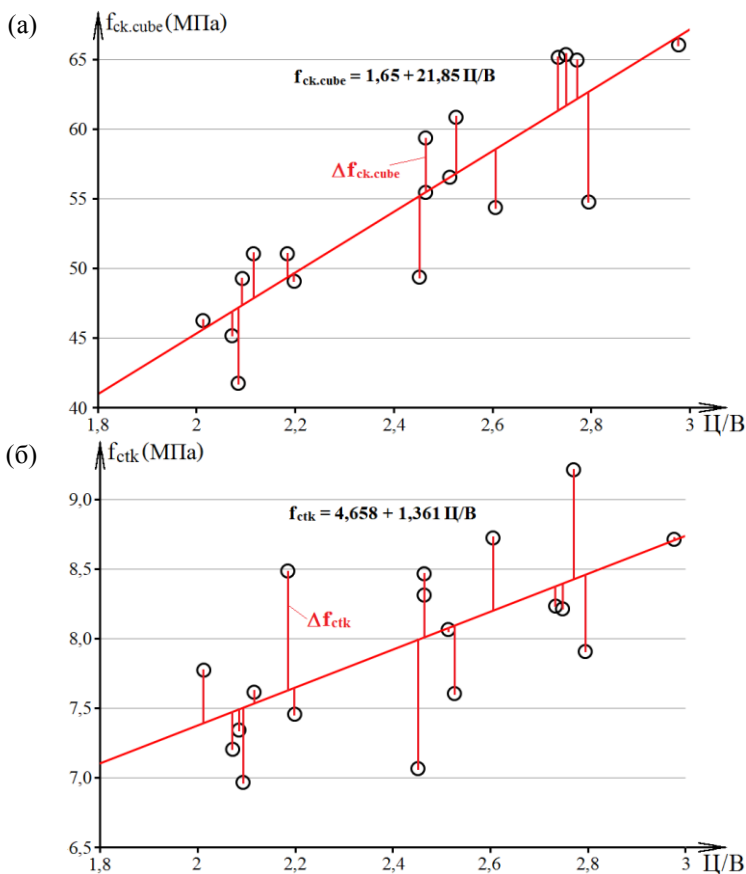


Рис.1. Вплив Ц/В на міцність на стиск (а) і міцність на розтяг при згині (б) бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів

$$f_{ck.cube}(\text{МПа}) = \{1,65 + 21,85 Ц/В\} + \{3,80 + 0,61x_1 \pm 0x_1^2 \pm 0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 + 0,86x_1x_4 + 0,43x_2 \pm 0x_2^2 - 0,97x_2x_3 - 0,51x_2x_4 + 2,74x_3 - 3,57x_3^2 - 0,98x_3x_4 + 1,47x_4 - 1,17x_4^2\} \quad (2)$$

$$f_{ctk}(\text{МПа}) = \{4,67 + 1,36 \times Ц/В\} + \{0,298 + 0,302x_1 - 0,103x_1^2 \pm 0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 + 0,089x_1x_4 + 0,383x_2 - 0,147x_2^2 + 0,033x_2x_3 - 0,094x_2x_4 + 0,125x_3 - 0,195x_3^2 + 0,034x_3x_4 - 0,021x_4 + 0,139x_4^2\} \quad (3)$$

На рис.2.а показані суміщені однофакторні діаграми для міцності на стиск (за відповідною ЕС-моделлю) і абсолютних залишків від кореляційної моделі (за ЕС-моделлю 2), побудовані таким чином, що криві проходять через екстремальні точки $f_{ck.cube.max}$ і $f_{ck.cube.min}$ та відповідно $\Delta f_{ck.cube.max}$ і $\Delta f_{ck.cube.min}$. Рівні максимумів і мінімумів двох ЕС-моделей при побудові діаграм суміщені. На рис.2.б показані аналогічні суміщені однофакторні діаграми для міцності на розтяг при згині (за відповідною ЕС-моделлю) та абсолютних залишків від кореляційної моделі (за ЕС-моделлю 3).

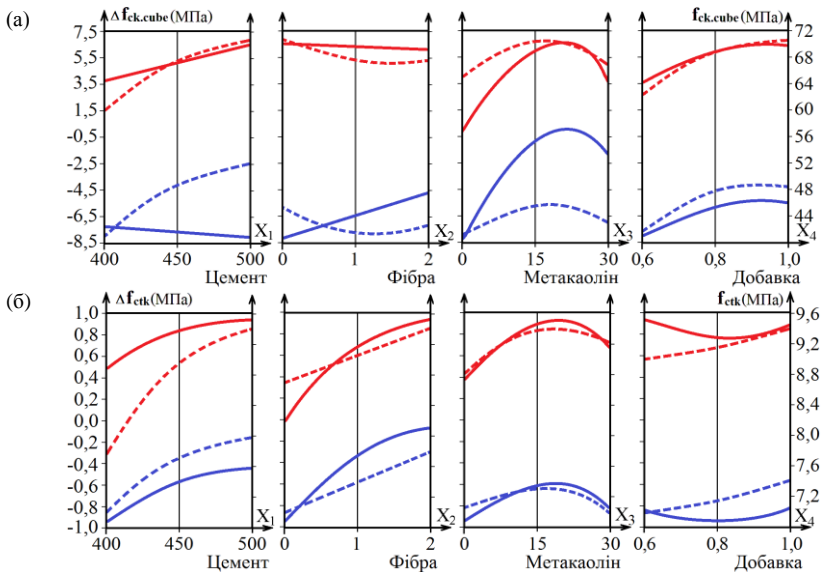


Рис.2. Вплив факторів складу на міцність на стиск $f_{ck.cube}$ (а) і на міцність на розтяг при згині f_{ctk} (б) бетонів і фібробетонів (пунктир) та величину абсолютних залишків $\Delta f_{ck.cube}$ (а) і Δf_{ctk} (б) від кореляційних моделей впливу цементно-водного відношення (жирна лінія)

Аналіз діаграм дозволяє зробити висновок, що зростання міцності на стиск (рис.2.а) і на розтяг при згині (рис.2.б) бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів при збільшенні у їх складі кількості портландцементу обумовлювався переважно зниженням Ц/В сумішей рівної рухомості. Це підтверджується тим, що поліноміальна частина ЕС-моделей (2) і (3) показує менший рівень впливу фактора X_1 відповідно на $\Delta f_{ck.cube}$ і Δf_{ctk} , ніж рівень впливу цього фактора на натурні величини $f_{ck.cube}$ і f_{ctk} .

Аналогічно завдяки аналізу діаграм можна зробити висновок, що вплив кількості добавки комплексної дії Coral ExpertSuid-5 на міцність на стиск (рис.2.а) і на розтяг при згині (рис.2.б) досліджених бетонів в рамках факторного простору експерименту обумовлений також переважно зміною Ц/В суміші – рівень впливу фактору X_4 на залишки від кореляційних моделей (жирна лінія) є меншим, ніж вплив даного фактору на величини $f_{ck,cube}$ і f_{ctk} (пунктир).

При цьому завдяки відокремленню впливу факторів на Ц/В позитивний вплив активної мінеральної добавки метакаоліну (X_3) на міцність на стик і на розтяг при згині (точніше на величини $\Delta f_{ck,cube}$ і Δf_{ctk}) стає більш вираженим. Аналогічно позитивний вплив дисперсного армування поліпропіленовою фіброю на міцність на розтяг при згині також стає більш вираженим. Тобто при зростанні рівня фактору X_2 величина Δf_{ctk} зростає в більшій мірі, ніж f_{ctk} .

Таким чином, завдяки використанню обчислювального експерименту були отримані дані, що недоступні при використанні лише загальноприйнятих методик аналізу результатів планованого експерименту. Аналіз залишків від кореляційної лінійної функції впливу Ц/В дозволив оцінити роль в структуроутворенні факторів складу бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів поза їх зв'язком з водопотребою сумішей рівної рухомості.

1. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168 с.

2. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. М.: Статистика, 1978. 196 с.

3. Мишутин А.В., Кровяков С.А. Оценка влияния состава бетона жесткого дорожного покрытия на его прочность с учетом изменения Ц/В смеси. Моделирование и оптимизация композитов. Материалы к международному семинару, посвященному 80-тилетию В.А. Вознесенского. Одесса: Астропринт, 2014. С. 99-101

4. Мишутин А.В. Кровяков С.А. Оценка влияния состава модифицированного бетона на его прочность, водонепроницаемость и морозостойкость с учетом изменения Ц/В смеси. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. №71 (94). Луганськ: ЛАНУ, 2007. С. 348-356

5. Вознесенский В.А., Кровяков С.А., Ляшенко Т.В. Элементы компьютерного материаловедения при исследовании бетонов. Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 50. К.: НДІБК, 1999, С. 310-318.

О КОМПЬЮТЕРНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ 2020

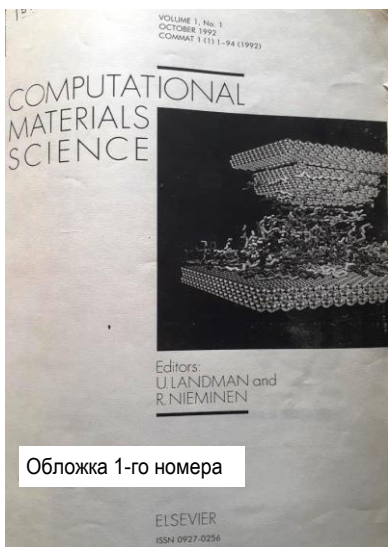
Ляшенко Т.В.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Abstract. *The year of appearance of the name "computational materials science" and its purpose are indicated. The current position of this branch of knowledge and its prospects are outlined, including those in the field of building materials science.*

Key words: *computational materials science, material structure modelling, experimental-statistical modelling, composition-process fields methodology.*

Введение. Впервые в 1992-ом году в заголовок публикации по строительным материалам [1] было вынесено название *компьютерное материаловедение*. Позже автор, Виталий Анатольевич Вознесенский, как начало отсчета для компьютерного материаловедения (КМВ, CMS) рассматривал год выпуска первого номера журнала *Computational Materials Science*, тоже 1992-ой.



Цель журнала, продекларированная в редакционном заявлении [2] – усилить связь между экспериментальной и вычислительной составляющими исследований.

В статьях [3, 4] подчеркивается, что направленное на решение проблем материаловедения как такового, КМВ призвано развивать экспериментальные исследования во взаимосвязи с компьютерными технологиями.

Методы КМВ оказываются необходимы и при разработке конкурентоспособных строительных композитов, когда «решение не может быть получено в прямом

физическом эксперименте или вне компьютерной технологии без больших затрат материальных ресурсов и (или) времени» [5].

Поскольку скоро «все» станет компьютерным, КМВ, вероятно, станет неотъемлемой частью материаловедения как такового, в нем будет подразумеваться компьютерная составляющая.

К 2020-му году. Содержание первых четырех номеров журнала *CMS*, за 1992-93, было проанализировано в [6]. В последующие и последние годы основные объекты исследований в статьях журнала – сплавы, нанокompозиты и другие материалы (для аэрокосмической техники, атомной энергетики, других высокотехнологичных отраслей), наиболее частые методы – Монте Карло и конечных элементов. Достаточно близки строительному материаловедению недавние статьи [7, 8].

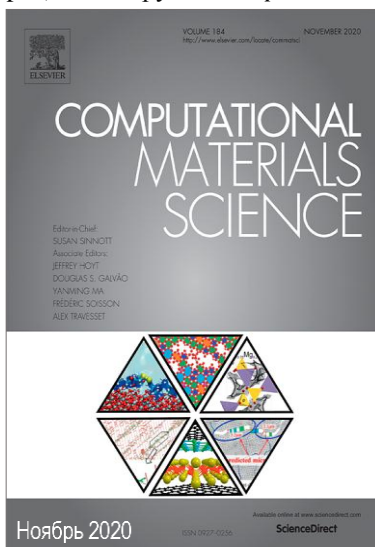
О бурном развитии *CMS* свидетельствует большое число научных групп, занятых компьютерным моделированием структур материалов на разных уровнях (атомном, молекулярном, нано, микро). Это, в частности: *Computational Materials Science Group (Lawrence Livermore National Laboratory, USA)*; *Computational Materials Science Unit (National Institute for Materials Science, Japan)*; *CMS группа в Imperial College London*; другие группы в Нидерландах, России, Швеции... Издано достаточно много книг [9-13 и др.], учебник [14].

Интенсивные исследования в области компьютерного строительного материаловедения (КМВ) многие годы проводятся в NIST (*National Institute of Standards and Technology, USA*). Разрабатываются программы для моделирования структур, модели строятся и анализируются [15-17 и др.].

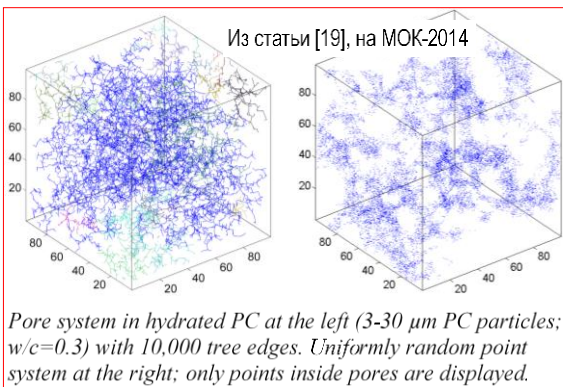
Исследования на основе генерируемых моделей проводятся в *Delft University of Technology*, в частности, это работы под руководством P. Stroeven, например, [18, 19].

Из декларации на титульном листе журнала *Computational Materials Science*

Computational Materials Science aims to enhance the communication between **experimental materials research and computational work** on both existing and new, advanced materials and their applications.



Однако, как справедливо отмечает E.J. Garbocz [20], "It would be very difficult to compute material properties based on how it stored the model's microstructure, viz., an approach based on centers and radii of spherical particles in a virtual container. I needed to get this property computation part operational. Without



that component, the model could not be truly called a materials science model, and its results could not be directly compared with experiment".

«Наш вклад» в КМВ (работы профессора В.А. Вознесенского и под его руководством) – методологии экспериментально-статистического моделирования [21-23] и рецептурно-технологических полей [24-25]. Некоторые последние результаты представлены в статьях [26-29]. Следует отметить моделирование числовых характеристик реологических кривых [30] и применение обобщающих показателей процесса структурообразования в [31].

Образовательные программы по КМВ есть у многих из упомянутых групп и во многих вузах, например, в МГТУ им. Баумана (кафедра компьютерного моделирования и нанотехнологий), в Южно-Уральском государственном университете. Преподается КМВ и для строительных специальностей: в Тверском техническом университете (Интерактивный учебный курс проф. В.В. Белова "Структурно-имитационное моделирование дисперсных систем, применяемых в технологии строительных композиционных материалов», <https://www.sunspire.ru/products/dispersions/>), в Новосибирском аграрном университете, в ОГАСА.

Перспективы. С методологической точки зрения – это разработка подходов и инструментов совместного использования (соединения) моделей разного происхождения (фундаментальных, концептуальных, структурно-имитационных, искусственных нейронных сетей, экспериментально-статистических...), компьютерное размножение (клонирование) экспериментальных данных для решения проблем надежности и обеспечения гарантированных уровней качества и многое другое.

С точки зрения приложений в строительном материаловедении – это расширение класса задач, в частности, на моделирование и оптимизацию процессов (структурообразования, течения технологических

смесей, тепло- и массопереноса...), в том числе, моделируя те или иные параметры и другие обобщающие показатели процессов.

1. Вознесенский В.А. Компьютерное материаловедение и экспериментально-статистическое моделирование в задачах технологии древесных композиционных материалов // *Древесина и композиционные материалы в строительстве*: Сб. реф. межд. симп. – Одесса, 1992. – С. 10-11.

2. Landman U., Nieminen R. Editorial. *Computational Materials Science*, V. 1, No. 1, 1992. – P. v.

3. Вознесенский В.А. Первые элементы компьютерного строительного материаловедения // *Вісник ОДАБА*. – Одеса, 2005. – Вип. 18. – С. 19-25.

4. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.

5. Вознесенский В.А., Кривяков С.А., Ляшенко Т.В. Элементы компьютерного материаловедения при исследовании бетонов // *Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону / Будівельні конструкції*. Вип. 50. – К.: НДІБК, 1999. – С. 310-318.

6. Ляшенко Т.В. Образ компьютерного материаловедения в журнале *Computational Materials Science* // *Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении*. Мат-лы межд. сем. МОК'35. – Одесса, 1996. – С. 3-4.

7. Sharma S., Kumar P., Chandra R., Setia P. Prediction of properties of silica nanoparticle/hydroxyapatite fiber reinforced Bis-GMA/TEGDMA composites using molecular dynamics. *Computational Materials Science*, V. 158, 2019. – P. 32-41.

8. Frazier W.E., Hu S., Joshi V.V. A Potts Model parameter study of particle size, Monte Carlo temperature, and “Particle-Assisted Abnormal Grain Growth”. *Computational Materials Science*, V. 185, 2020.

9. Raabe D. *Computational Materials Science: The Simulation of Materials, Microstructures and Properties*. 1998 WileyVCH, 1998, 400 p.

10. Lee J.G. *Computational Materials Science: An Introduction*, 2nd ed., CRC Press, 2016, 375 p.

11. Ohno K., Esfarjani K., Kawazoe Y. *Computational Materials Science: From Ab Initio to Monte Carlo Methods*, 2nd ed., Springer, 2018, 439 p.

12. *Multiscale Paradigms in Integrated Computational Materials Science and Engineering*. Materials Theory, Modeling, and Simulation for Predictive Design. Deymier P., Runge K., Muralidharan K. eds., Springer, 2016, 300 p.

13. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. – М.: Научный мир, 1999. – 543 с.

14. LeSar R. *Introduction to Computational Materials Science: Fundamentals to Applications*. Cambridge University Press, 2013. – 427 p.

15. Bentz D.P. CEMHYD3D: A Three-Dimensional Cement Hydration and Microstructure Development Modelling Package. Version 2.0. – NIST, Gaithersburg, Md (USA), 2000. – 233 p.

16. Bentz D. P., Aitcin P.C. The Hidden Meaning of Water-Cement Ratio, *Concrete International*, 30(5), 2008. – P. 51-54.

17. Lu Y., Thomas S., Garboczi E.J. A Real Microstructural Model for Cement Concrete Modeling. In *Nanotechnology in Construction*, Springer, 2015. – P. 301-308.

18. Chen H, Lambertus J., Sluys L.J., Stroeven P., Sun W. Theoretical prediction on thickness distribution of cement paste among neighboring aggregates in concrete. *Computers and Concrete*, V. 8, No. 2, 2011. – P. 163-176.

19. Stroeven P., He H., Le L.B.N., Li K. Modeling possibilities of concrete structure for durability purposes // *Моделирование и оптимизация композитов. Мат-лы межд. сем. МОК.* – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 60-63.

20. Garbotczi E.J. The computational materials science of concrete: Past, present and future. – *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 92, No. 4, 2013. – P. 40-45.

21. Вознесенский В.А. Компьютерное материаловедение, экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация композиционных строительных материалов // *Строительство в России: прогресс науки и техники.* – М.: Инженерная академия РФ, 1993. – №1. – С. 98-101.

https://drive.google.com/file/d/1BHIFOT4G0dRkO5Dd1sGdjNf_OPjlcUXS/view

22. Voznesensky V.A., Lyashenko T.V. Experimental-statistical modeling in computational materials science // *Proc. 3rd Int. Applied Statistics in Industry Conf.*, V. 1. Wichita, KS (USA): ACG Press., 1995. – P. 287-298.

<https://drive.google.com/file/d/0BzKYSjvwhyecDI2enEta0dQc28/view>

23. Voznesensky V., Lyashenko T. Experimental-statistical modelling in computational materials science. – Одесса: Астропринт, 1998. – 32 с.

24. Lyashenko T. Composition-process fields methodology for design of composites structure and properties // *Brittle matrix composites 11.* Warsaw, Institute of Fundamental Technological Research PAS, 2015. – P. 289-298.

25. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2017. – 168 с.

<https://drive.google.com/file/d/1FCCYDYRe5jC10N3l6Wzwf1T4IgladhQF/view>

26. Lyashenko T., Kersh V., Kersh D. Modelling the effect of composition on the properties of gypsum concrete containing cenospheres // *18 ibausil*, Weimar (Germany), V. 1, 2012. – P. 416-423.

<https://drive.google.com/file/d/0BzKYSjvwhyecRIRXdXhIczdvbnc/view>

27. Lyashenko T., Kersh V., Kolesnikov A. Heat-insulating gypsum composite: modelling the influence of composition on pore structure // *20 ibausil*, Weimar (Germany), V. 2, 2018. – P. 2.577-2.584.

<https://drive.google.com/file/d/1K16IDttO7WGaR3rd9JGBUg0LK34TQG65/view>

28. Чернов А.Н., Низина Т.А., Низин Д.Р., Ланкина Ю.А., Горенкова А.И. Многокритериальная оптимизация составов наполненных микроалюцитом эпоксидных композитов // *Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Мат-лы Всерос. науч.-техн. конф., Саранск*, 2019. – С. 428-437.

29. Lyashenko T., Dovgan A., Dovgan P. Glass fibre reinforced decorative composite: components influence and multicriterial optimisation. *Brittle Matrix Composites 12.* Warsaw, Institute of Fundamental Technological Research, 2019. – P. 107-116.

30. Ляшенко Т.В., Крюковская С.А. Реологические критерии при оптимизации фиброполимерцементных композиций для наливных покрытий полов // *Вісник ДонНАБА*, 1(99), 2013. – С. 101-107.

<https://drive.google.com/file/d/1YdnA7d61mh63aEDXZJROhBvMo9xx7y0M/view>

31. Lyashenko T.V., Dovgan A.D., Dovgan P.M. Decorative concrete with hybrid glass fibre: design and first results of the experiment. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 70, 2018. – С. 99-105.

<https://drive.google.com/file/d/1HBOkLD1PsiM9h9QGrEhuAq1Xe4mXFxG4/view>

**COMPOSITE PERSPECTIVE OF ESTIMATION OF
QUANTITATIVE PARAMETERS OF THE PROCESS OF
DEFORMATION OF A LOADED SOIL BASE**

Marchenko M. V., Mosicheva I. I., Baranik V. S., Gaiova M. I.
(*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*)

***Abstract.** A complex of experimental field tests of soils with stamps was carried out, the analysis of the results of which shows the process of a locally formed compacted volume during the interaction of the "basis-foundation" system. The change in soil parameters along the base depth and quantitative parameters of deformation under external force are given.*

***Keywords:** subgrade, stamp, load, draught, structural strength, deformation, process parameters.*

The phrase "composite perspective", given in the title of the work, implies an assessment of the physical-mechanical parameters along the depth of the soil massif only in the sense of their variability. At the same time, in contrast to artificial composite building materials, the heterogeneity of natural soil massifs (media) with alternating layers is assumed not abruptly, but seamlessly changing [1].

Experimental research and conclusions based on them are carried out and cover the physical-mechanical indicators of the two upper layers of a typical engineering-geological section of Odessa, both in natural and in a compacted state. Changes in these parameters are also given in the process of deformation of soils under loading [2].

The reliability of the research results is based on the developed complex methodology of full-scale tests in the field. Its consistent elements include the application of such provisions [3, 4]:

a) soil testing technology, which allows to take into account errors associated with deformation of contact surface irregularities and compression of the sand layer, which together make up a significant proportion in the stamp draught [5];

b) deep magnetic marks, a method and means of measurements, allowing to increase the reliability and accuracy of determining layer-by-

layer soil displacements at the base of foundations [6];

c) a way of loading of stamps with stepwise increasing load with unloading, that makes it possible to obtain additional parameters characterizing the process of soil deformation at the base of foundations [7-9];

d) a method for determining the value of structural strength, combining independent experimental-graphic techniques [10];

e) deformations of lateral expansion at the base of the foundations were quantified by such reference parameters as comparison of the values of the relative layer-by-layer displacements of marks and the density of dry soil in the natural state and after its compaction by the foundation.

The results of soil testing with stamps with an area of 300 cm², performed according to the above methodology, through 0.5 m in depth as the hole is drilled are shown in Fig. 1.

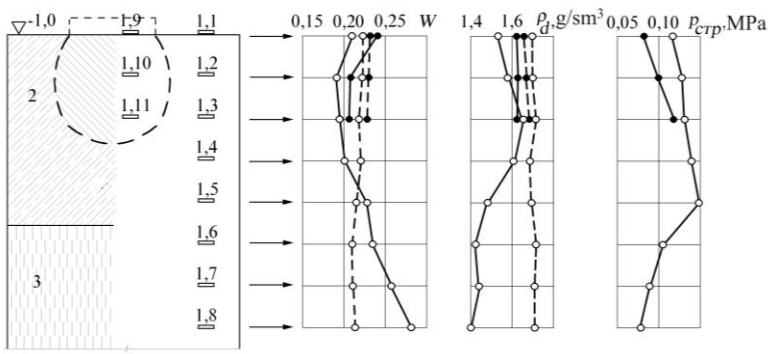


Fig. 1. Generalized graphs of changes in moisture content, dry soil density and the value of structural strength in depth
(experiments 1.1-1.8 – on the soil of natural structure;
1.9-1.11 – on soil pre-compacted with a pressure of 0.3 MPa)

Conclusions.

1. Soil of natural constitution has variable indicators, both within the layer and during their alternation.
2. Structural strength, determined in the field, according to our method, practically does not depend on the area of the foundation.
3. Structural strength is an objective deformation-strength indicator characterizing the onset of residual soil compaction, which should be taken into account in settlement calculations.
4. Irreversible foundation settlement consists of two components: caused by soil compaction and its lateral expansion.

1. Марченко М.В., Мосічева І.І., Чалак Я.І., Кальчев І.К., Лихва М.В., Сасі О.В., Костилян Д.В. Моделювання опору ґрунтової основи як взаємодії композитної системи «матеріал-середовище» // Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». – Одеса, 2019. – С. 106-109.
2. Марченко М.В., Мосічева І.І., Чалак Я.І., Лихва М.В., Кальчев І.К., Сасі О.В. Критерій поперечної трансформації ґрунтової моделі «несучий стовп» // Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». – Одеса, 2019. – С. 110-114.
3. Марченко М.В. Системний підхід до випробувань стисливості ґрунтових підвалін // Вісник ОДАБА. – Вип. 7. – Одеса, 2002. – С. 102-106.
4. Марченко М.В. Комплексні випробування стисливості водонасичених лесовидних підвалін і всебічний аналіз їх результатів // Вісник ОДАБА. – Вип. 8. – Одеса, 2002. – С. 122-125.
5. Марченко М.В., Тугаєнко Ю.Ф. Некоторые вопросы совершенствования методики испытаний глинистых грунтов в полевых условиях // Механика грунтов и фундаментостроение /Тр. 3 Украинской науч.-техн. конф. Том 2. – Одесса, 1997. – С. 306-308.
6. Марченко М.В., Кушак С.И. Измерение деформаций грунтов бесконтактным методом и оценка его погрешности // Вісник ОДАБА. – Вип. 4. – Одеса, 2001. – С. 325-331.
7. Марченко М.В. Деформации оснований при нагрузке и разгрузке штампа // Исследование работы оснований и фундаментов в сложных грунтовых условиях / Межвуз. сб. – Казань, 1985. – С. 40-44.
8. Марченко М.В., Тугаєнко Ю.Ф. Оценка строительных свойств лессовых грунтов в полевых условиях при циклически возрастающих нагрузках // Основания и фундаменты / Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1991. – Вып. 24 – Киев: Будівельник. – С. 29-31.
9. Mikhailo Marchenko, Iryna Mosicheva, Aleksej Aniskin. Estimation of Poisson's ratio of soil using stiffness of loose soils / Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek - e-GFOS. №16, 2018., pp. 83-94. ISSN1847–8948 (Abstracting and Indexing: WoS, CAB Abstract, INSPEC, DOAJ, Applied Science & Technology Source).
10. Марченко М.В., Тугаєнко Ю.Ф. Влияние структурной прочности на процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов //Геотехника Беларуси: наука и практика / Мат. междунар. науч.-техн. конф., Часть 1. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 397-403.

**COMPOSITE ADAPTATION PROCESS
OF NATURAL SOIL MASS AND ITS LOCALLY COMPACTED
VOLUME DURING THE OPERATION OF THE SYSTEM
"BASIS – FOUNDATION"**

**Marchenko M.V., Mosicheva I.I., Potapov A.A., Chesnokova I.D.,
Sienich O.I.**

(Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

***Abstract.** The process of adaptation of the natural soil massif and its locally formed compacted volume during the interaction of the "basis-foundation" system is considered. Experimental qualitative and quantitative parameters of this system are given when changing the force action. The effect of the width and pressure along the base of the foundation on the depth of the compacted zone, in which the resistance to external load is formed, is shown.*

***Keywords:** composite soil environment, foundation, load, settlement, deformation process, parameters of locally compacted soil volume.*

The determination "composite" encompasses a wide range of concepts. These can be construction (or other) materials from evenly (or according to a certain system) mixtures of various (crushed stone, sand, cement) components distributed over the volume in the form of mortars and concretes, etc.

On the other hand, these are sharply heterogeneous rod, flat or spatial structural systems, integrated from homogeneous materials of different nature and state. As a rule, they are various forms of sharply heterogeneous so-called sandwiches, which can consist of anything (wood, polymers, metals, resins, fibers).

In this work, we consider the soil massif as an infinite in depth, layered heterogeneous composite building material. Moreover, its building properties discretely change both in plan and in the depth of the half-space.

This may also be due to technogenic factors. Heterogeneity is expressed by fluctuations in physical, deformative and strength indicators in the natural state, both during alternation and within each of the soil layers [1].

The process of interaction of soil foundations with the foundation during their loading is a local compaction of the soil under the base of the foundation as it settles. Two basic approaches to the shape of the compacted soil volume at the base of foundations can be clearly grouped.

This is a classical theoretical representation of its volume in the form of the so-called "bearing pillar", proposed by Terzaghi K. [2], Goldstein M.N., Medkov E.I. [3], Kushner S.G. [4]. Further private development of this direction was obtained in the works [5, 6].

An experimental approach to determining the actual parameters of the deformation zone under the foundations was developed in the development of the Department of Foundations and Foundations under the leadership of Golubkov V.N. [7-9] and Tugaenko Y.F. [10, 11].

In field experimental studies, foundations of different widths, shapes and areas were used. The load was applied to the foundations in steps. The measure for the stabilization of the settlement was the value 0.1 mm/day. As "sensors" of layer-by-layer soil displacements, point depth marks of various designs and discrete-linear clamps pre-laid in the base of the foundation served. An additional control of the deformation zone contour was sampling for soil density along a square grid in the plane of the exposed base under the foundation. The obtained generalized research data are shown in the form of graphical dependencies in Fig. 1.

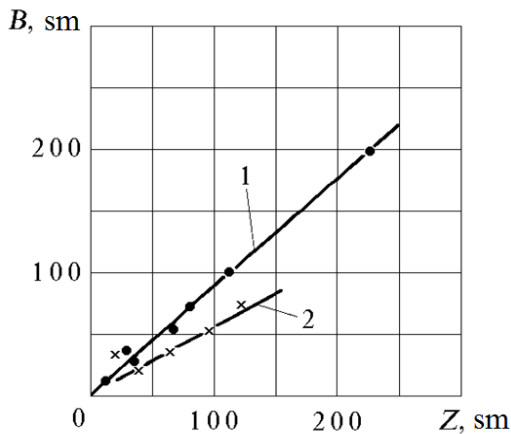


Fig. 1. Generalized graphs of dependences of the depth of the compacted zone Z on the width of the foundation B for specific pressures 0.2 MPa (1) and 0.3 MPa (2) on his foot

Conclusions:

1. The resistance of the soil base to external force is due to the adaptation of the compacted volume to the natural massif.

2. The compaction (deformation) zone has finite dimensions, the depth of which is in direct functional dependence on the width and pressure along the base of the foundation.

1. Марченко М. В., Мосічева І. І., Чалак Я. І., Кальчев І. К., Лихва М. В., Сасі О. В., Костилян Д. В. Моделювання опору ґрунтової основи як взаємодії композитної системи «матеріал-середовище» // Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса, 2019. С. 106-109.

2. Терцаги. К. Строительная механика грунта. М.: Госстройиздат, 1933. 392 с.

3. Медков Е. И., Березанцев В. Г., Гольдштейн М. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Транспорт, 1970. 287 с.

4. Кушнер С. Г. Расчёт деформаций оснований зданий и сооружений. - Запорожье: ООО «ИПО Запорожье», 2008. 496 с.

5. Mikhailo Marchenko, Iryna Mosicheva, Aleksej Aniskin. Estimation of Poisson's ratio of soil using stiffness of loose soils / Electronic Journal of the faculty of civil engineering Osijek - e-GFOS. №16, 2018., pp. 83-94. ISSN1847-8948 (Abstracting and Indexing: WoS, CAB Abstract, INSPEC, DOAJ, Applied Science & Technology Source).

6. Марченко М. В., Мосічева І. І., Чалак Я. І., Лихва М. В., Кальчев І. К., Сасі О. В. Критерій поперечної трансформації ґрунтової моделі «несучий стовп» // Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса, 2019. С. 110-114.

7. Голубков В. Н., Тугаенко Ю. Ф., Матус Ю. В., Плахотный Г. Н., Юдин В. А. Исследование процесса формирования объема зоны деформации в основаниях опытных фундаментов // Известия ВУЗов. "Строительство и архитектура". 1976. № 1. С. 37-41.

8. Голубков В. Н., Тугаенко Ю. Ф., Марченко В. С., Синявский С. Д., Суходоев Ю. Ф., Бич Г. М. Результаты исследований параметров процесса деформаций основания опытных фундаментов // Известия ВУЗов. "Строительство и архитектура". 1981. № 10. С. 25-29.

9. Голубков В. Н., Догадайло А. И, Дуденко Ю. И. Исследования деформаций грунта в основании штампа большой площади // Основания фундаменты и механика грунтов. 1984. № 5. С. 18-21.

10. Тугаенко Ю. Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки. Одесса: Астропринт, 2003. 224 с.

11. Тугаенко Ю. Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и её учёт при проектировании фундаментов. Одесса: Астропринт, 2011. 120 с.

РОЛЬ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН В УПРАВЛІННІ РЕОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ШЛАКОВІСНОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

Москаленко О.А.

(ТОВ “МЦ Баухемі”, м. Березань, Київська обл.)

***Abstract.** In this work, it is determined that the introduction of SAS manufactured by MC Bauhemi LLC in the range of spindle speeds from 10 to 200 RPM and shear rates from 2.1 to 42 1/s helps to reduce the values of dynamic viscosity from 944 ... 1200 cP to 360 ... 406 cP and an increase in the values of shear forces from 25...31 to 147 ... 171 dyne/cm² of slag-containing Portland cement of optimal composition. SAS by their effectiveness can be ranked in the following series: 5%SX+0.6%MC>5%NC+0.6%MC>5%NC+5%SX+0.6%MC.*

***Keywords:** slag-containing Portland cement, SAS, rheological properties, dynamic viscosity, shear force.*

Згідно даних [1, 2] тісто, що виготовлене з цементу або інших в'язучих речовин, уявляє собою концентровану водну суспензію, що характеризується певною структурою та підвищеною в'язкістю та відноситься до в'язкопластичних структурованих систем. Особливістю даних систем є практично постійна зміна властивостей водно-цементної суспензії від початку приготування до затвердіння, що обумовлюється складними фізико-хімічними процесами. Внаслідок наявності сил взаємодії між дисперсними частинками твердої фази і води ця система набуває зв'язаність і може розглядатися як єдине фізичне тіло з певними реологічними, фізичними і механічними властивостями [3]. Реологія водно-цементних суспензій, як і інших структурованих матеріалів, пов'язана з їх структурою, що змінюється в процесі твердіння. У зв'язку з цим оцінка їх реологічних властивостей є актуальна та необхідна в технологічному процесі виробництва будівельних конструкцій, особливо в процесі структуроутворення [4]. Однак дуже мало інформації щодо зміни реологічних властивостей високонаповнених шлаковмісних портландцементів.

Тому метою досліджень в даній роботі є визначення впливу

поверхнево-активних речовин на реологічні властивості шлаковмісного портландцементу. Досягнення мети можливо варіюванням типу та кількості введення оптимального комплексу орґано-мінеральних добавок виробництва «МЦ Баухемі» в портландцемент із оптимальною кількістю меленого шлаку.

Постановочними експериментами та розрахунками встановлено, що введення 56% меленого шлаку до складу портландцементу є оптимальним з точки зору зв'язування вільного вапна, а введення 5,6% комплексу орґано-мінеральних добавок виробництва «МЦ Баухемі» є оптимальним з точки зору регулювання строків початку та кінця тузавлення цементного тіста та міцносних характеристик [5]. В ролі поверхнево-активних речовин (ПАР) використано продукти фірми «МЦ Баухемі»: Суперпластифікатор СП «МС-PowerFlow2695» на основі ефірів полікарбоксилатів; орґано-мінеральний комплекс SX «CentrilitFumeSX» на основі суспензії мікрокремнезему (SX); орґаномінеральний комплекс NC «CentrilitNC» на основі пуцоланових алюмосилікатів (NC). Реологічні властивості досліджено за допомогою приладу Брукфільда LVDV2T із використанням шпинделя LV-3C (67) [6] при $V/\Omega=0,3$.

Як видно з рис. 1, незалежно від виду та кількості введення поверхнево-активних речовин, зміни кривих динамічної в'язкості мають експонентну залежність і характерні для псевдопластичних рідин, тобто збільшення швидкості оберту шпинделя від 10 до 200 RPM сприяє зменшенню значень динамічної в'язкості від 944...1200 сР до 360...406 сР.

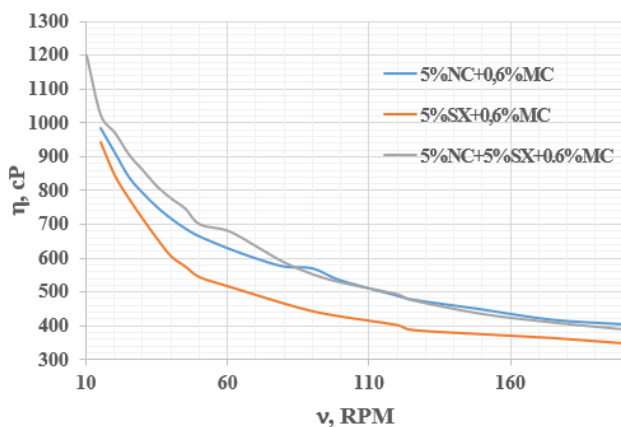


Рис. 1. Кінетика зміни динамічної в'язкості шлаковмісного портландцементу в залежності від виду та кількості поверхнево-активних речовин

Комплекс 5%SX+0.6%MC характеризується найменшими показниками змін динамічної в'язкості за рахунок свого мінералогічного складу, форми та розміру часток.

Зазначений комплекс характеризується й найменшими показниками змін зусиль зсуву від 30 до 147 dyne/cm² в залежності від швидкості зсуву в діапазоні 2,1...42 1/s (рис. 2).

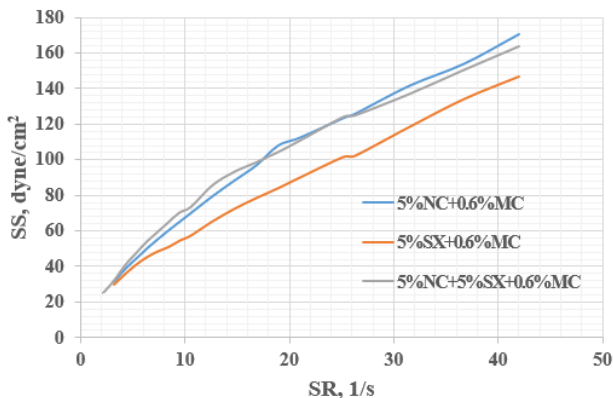


Рис. 2. Кінетика зміни зусиль зсуву шлаковмісного портландцементу в залежності від швидкості зсуву, виду та кількості поверхнево-активних речовин

Введення до складу шлаковмісного цементу комплексу 5%NC+0.6%MC сприяє в 1,04 рази підвищенню значень початкової динамічної в'язкості, а комплексу 5%NC+5%SX+0.6%MC – в 1,3 рази в порівнянні з початковими значеннями динамічної в'язкості комплексу 5%SX+0.6%MC (рис. 1). Встановлена закономірність простежується і при змінах зусиль зсуву від швидкості зсуву (рис. 2). Цілком ймовірно, що на зазначений характер змін суттєво впливає як розмір часток складових добавки NC, так і їх здатність до сорбції води при замішуванні шлаковмісного цементу.

В діапазоні швидкостей від 80 до 200 RPM і, відповідно, швидкостей зсуву від 16,8 до 42 1/s, значення динамічної в'язкості та зусиль зсуву комплексу 5%NC+5%SX+0.6%MC зменшуються в 1,02 рази в порівнянні зі значеннями відповідних величин комплексу 5%NC+0.6%MC.

Висновки:

В результаті дослідження визначено вплив поверхнево-активних речовин виробництва «МЦ Баухемі» на реологічні властивості цементу, що вміщує в своєму складі 56% меленого шлаку. В діапазоні швидкостей від 10 до 80 RPM і швидкостей зсуву від 2,1 до 18 1/s на зміну значень динамічної в'язкості та зусилля зсуву ПАР можна ранжирувати в ряд: $5\%SX+0.6\%MC > 5\%NC+0.6\%MC > 5\%NC+5\%SX+0.6\%MC$; в діапазоні швидкостей від 80 до 200 RPM і швидкостей зсуву від 16,8 до 42 1/s ПАР можна ранжирувати в ряд: $5\%SX+0.6\%MC > 5\%NC+5\%SX+0.6\%MC > 5\%NC+0.6\%MC$. Отримані експериментальні дані доцільно враховувати в технології приготування бетонних сумішей при виборі оптимальних швидкостей перемішування.

1. Волженский А.В. и др. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

2. Тейлор Х. Химия цемента. – М.: Мир, 1996. – 560 с.

3. Усов Б.А., Акимов С.Ю. Механизм действия функциональных добавок при гидратации и твердении сухих строительных смесей. – Системные технологии. – 2015. - №17. – С. 24-35.

4. Торшин А.О., Боровикова С.О., Потапова Е.Н. Изменение реологических свойств цементных растворов в присутствии добавок. - Успехи в химии и химической технологии. - 2017. - Том XXXI. - № 1. - С. 46-48.

5. Москаленко О.А. Дослідження впливу орґано-мінерального комплексу виробництва ТОВ «МЦ Баухемі» на фізико-механічні властивості шлаковміщуючих цементів. - Вісник ОДАБа. - 2020. - Вип. 80. - С. 75-83.

6. Guzii S. Investigation of the influence of organomineral additives on the colloid-chemical properties of geocement dispersion. Technology audit and production reserves. – 2017. - №3/1(35). – pp. 38-43. doi: 10.15587/2312-8372.2017.105678

МОДЕЛЮВАННЯ МОРОЗОСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ ЗАМОРОЖУВАННІ

Непомящий О.М.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

***Abstract.** The presentation of the design in the form of an open, complex, self-organized system allows analyzing the influence of external influences on the reaction of its individual elements of the structure and the system as a whole. The freezing-thawing cycles are continuously selected from the range of external influences. These actions are the most dangerous to change the structure of construction composites.*

The work done has made it possible to evaluate the effect of freezing conditions on the change of their physical-mechanical characteristics and frost resistance of building materials.

The analysis of the experimental results showed that with the increase in the number of cycles in the samples of cement and mortar, structural changes occur that depend on the conditions of freezing.

Keywords: *unilateral freezing, process crack, structure, model, product.*

Погодні явища є постійним чинником в життєвому циклі будівельних виробів, конструкцій, будівель та споруд. Будівельні вироби та конструкції відносять до відкритих складноорганізованих систем, що самоорганізуються. Це передбачає, що протягом всього життєвого циклу такі системи постійно знаходяться під зовнішньою дією навколишнього середовища. Аналіз погодних явищ Одеси та Одеської області показав, що протягом одного року біля 70 разів температура знижувалась нижче 0°C, що веде до необхідності враховувати здатність матеріалу виробів забезпечувати необхідну морозостійкість.

Існуючі методики оцінки морозостійкості будівельних матеріалів базуються на припущенні, що зразки після зволоження піддаються всебічному впливу від'ємних температур. Аналіз умов експлуатації більшості будівельних виробів і конструкцій (огорожувальні конструкції будівель і споруд різного значення, греблі, облицювання каналів, напірні і безнапірні труби, ЛЕП тощо) показав, що, як правило, зовнішні погодні впливи діють на них односторонньо або локально. Можна припустити, що при таких типах впливів поведінка матеріалів у виробках буде значно

відрізнитися від їх поведінки при всебічному заморожуванні. Для більш об'єктивної оцінки морозостійкості стоїть завдання аналізу умов зовнішнього впливу від'ємних температур на зміну фізико-механічних характеристик матеріалів, що повинно впливати на їх морозостійкість.

Проведений аналіз показав, що практично відсутня науково-технічна інформація щодо впливу умов заморожування на морозостійкість. Зміна умов заморожування істотно змінює формування фронту промерзання, що веде до зміни внутрішнього тепло- і масопереносу, затискання або витіснення газової складової, виникнення і розвитку вологісних і температурних деформацій та ін. Це дасть змогу більш об'єктивно оцінити вплив погодних умов на безпечне функціонування будівельних виробів, конструкцій, будівель та споруд.

В даний час існує велика кількість гіпотез, які пояснюють причини зниження основних характеристик будівельних матеріалів при їх багаторазовому заморожуванні та відтаюванні.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-47-96 випробування на морозостійкість нормується проводити в хімічно агресивних середовищах та враховувати сценарій експлуатації. В сценаріях експлуатації, які враховує ДСТУ, немає одностороннього впливу навколишнього середовища. Проаналізувавши літературу та умови експлуатації біло зроблено припущення що односторонній (локальний) вплив є найбільш розповсюдженим з видів впливу на конструкцію.

При всебічному заморожуванні формується своєрідний «фронт промерзання», що сприяє витісненню вільної води в глибинні шари матеріалу. Так як будівельні матеріали на неорганічному в'язучому представляють у вигляді капілярно-пористих середовищ, то формування інтегрального фронту промерзання пов'язують з процесами і явищами, які відбуваються в окремих порах і капілярах. Гіпотези промерзання ґрунтів запропонував і аналізував професор Сумгін М.І. в 30-х роках минулого століття [1] при вивченні процесів промерзання ґрунтів в районах вічної мерзлоти.

Якщо прийняти за основу подібний механізм внутрішнього термо- і масопереносу, то в умовах всебічного заморожування в глибинних зонах зразків (виробів) буде концентруватися значна кількість води, утворюючи «ядро» матеріалу пересичене вологою. При повному промерзанні тиск, який виникає при збільшенні обсягу води, повинен привести до руйнування зразка (виробу) зсередини. За весь період спостережень за поведінкою будівельних виробів і конструкцій та при вивченні морозостійкості на окремих зразках не описаний вибухонебезпечний характер руйнування за способом «зсередини - назовні».

Дані неузгодженості зумовили поставити задачу по аналізу механізмів формування фронтів промерзання в зразках, виготовлених з будівельних матеріалів, які розглядаються як капілярно-пористі тіла.

При зволоженні вода повністю заповнює об'єм капіляра (тріщини). Геометричні характеристики капіляра дозволяють воді бути в вільному стані, поліадсорбційному та в моноадсорбційному стані. Це передбачає, що зміна агрегатного стану води буде залежати від її форм зв'язку з твердою поверхнею.

Тиск льоду на стінки викликає їх переміщення, що веде до зміни геометричних характеристик капіляра. На зміну геометричних характеристик капілярів, а також інших несущальностей, впливають деформації, пов'язані зі зміною температури твердої складової матеріалу. Сукупна дія деформації під дією льоду та термічних деформацій викликає переміщення стінок капіляру або берегів тріщини та поверхонь розділу. Це призводить до збільшення об'єму несущальностей. В свою чергу, збільшення об'єму викликає пропорційне зменшення тиску в об'ємі капіляра (тріщини). Зменшення тиску в об'ємі капіляра веде до виникнення градієнту тиску на границі переходу «лід-поліадсорбційна вода» за рахунок атмосферного тиску.

Зміна геометричних характеристик несущальностей при одночасній зміні їх об'єму та внутрішнього тиску спонукає до прояву ефектів чергового масопереносу. Зниження внутрішнього тиску веде до підйому вільної води з глибинних слоїв капілярів, пір, тріщин.

Крім того відбувається направлена міграція води за рахунок градієнтів температур. Відомо, що в капілярно-пористих тілах вода переміщується в напрямку ділянок з більш низькою температурою. По мірі переміщення фронту промерзання в глибинні зони зразка зменшується водонасичення матеріалу та виникає ефект висихання зразка.

Для аналізу зміни структури було обрано метод фіксації коефіцієнту пошкодженості через кількісний підрахунок тріщин. Тріщини є об'єктивно існуючими елементами структури, які в значній мірі визначають рівень властивостей бетону і умови безпечної роботи залізобетонних конструкцій.

Як об'єкти вивчення і аналізу були прийняті зразки-балочки (40×40×160 мм), цементно-піщаного розчину (цемент/пісок = 1/2 і В/Ц = 0,5).

Всі зразки поділялися на три групи. Перша група – це зразки, які проходили об'ємне заморожування-відтавання згідно ДСТУ (O1). Друга група проходила заморожування-відтавання лише в обраній ділянці (8 см.) (O2-), інша частина зразка була захищена від негативної температури (O2+). У третій групі знаходилися контрольні зразки, які весь час перебували в камері нормального зберігання з вологістю 95% (O3).

Після п'яти циклів заморожування та відтавання значення показника коефіцієнта пошкодженості для частини зразків O2- було більше на 31,5% в порівнянні з O1. На частині зразка яка не заморожувалася (O2+), коефіцієнт пошкодженості змінився на 28%

відносно зразка, що проходив об'ємне заморожування. Дане відношення в зміні коефіцієнту пошкодженості в зразках зберіглося до 15 циклів.

Початкова пошкодженість в двох типах зразків була ідентичною. При збільшенні кількості циклів до 5 коефіцієнт пошкодженості збільшився на 78% в зразках при всебічному впливі (O1). При подальшому збільшенні циклів до 10 пошкодженість збільшилась на 38% відносно отриманих результатів після 5 циклів. Після 15 циклів Кп збільшився на 13% відносно Кп на 10 циклі. На 20 циклі коефіцієнт пошкодженості збільшився на 47%, на 25 циклі – на 23%, на 30 циклі – на 42% та на 40 циклі заморожування та відтаювання коефіцієнт пошкодженості збільшився на 36%. Суцільна зміна коефіцієнта пошкодженості в зразках при всебічному впливі збільшилась майже в 9 раз відносно початкових даних.

Коефіцієнт пошкодженості для зразків з локальним типом впливу (O2) після 5 циклів заморожування та відтаювання не змінились. Подальше збільшення циклів до 10 - пошкодженість збільшилась та складала 142% відносно отриманих результатів після 5 циклів. Після 15 циклів Кп збільшився на 24% відносно Кп на 10 циклі. На 20 циклі коефіцієнт пошкодженості збільшився на 15%, на 25 циклі – на 18%, на 30 циклі – на 31% та на 40 циклі заморожування та відтаювання коефіцієнт пошкодженості збільшився на 21%. Суцільна зміна коефіцієнта пошкодженості в зразках при всебічному впливі збільшилась в 5,5 раз відносно початкових даних.

Так як при локальному впливі різні частини зразків знаходились в різних температурних діапазонах, нами був проведений аналіз зміни Кп в кожній частині індивідуально.

Проведений аналіз частини, яка не проходила заморожування та відтаювання в локальному зразку (O2+) показав, що після 5 циклів заморожування та відтаювання коефіцієнт пошкодженості збільшився відносно початкового на 18%. Після 10 циклів Кп збільшився на 22,6%, після 15 циклів – на 11%, на 20 циклі – ще на 60%, та після 25 – на 57%. На 30 циклі зміна Кп склала 33%, та на 40 циклі збільшилась на 87%. Суцільна зміна коефіцієнта пошкодженості в зразках з локальним типом впливу в частині яка не проходила заморожування та відтаювання (O2+) збільшилась в 9 разів відносно початкових даних.

В той час як в частині яка проходила заморожування та відтаювання в локальному зразку (O2-) після 5 циклів заморожування та відтаювання коефіцієнт пошкодженості збільшився відносно початкової на 12%. Після 10 циклів Кп збільшився на 138%, після 15 циклів – на 27%, на 20 циклі – ще на 9%, та після 25 – на 12%. На 30 циклі зміна Кп склала 13%, та на 40 циклі збільшилась на 8%. Коефіцієнт пошкодженості в зразках з локальним типом впливу в частині яка проходила заморожування та відтаювання (O2-) збільшилась в 4 рази відносно початкових даних.

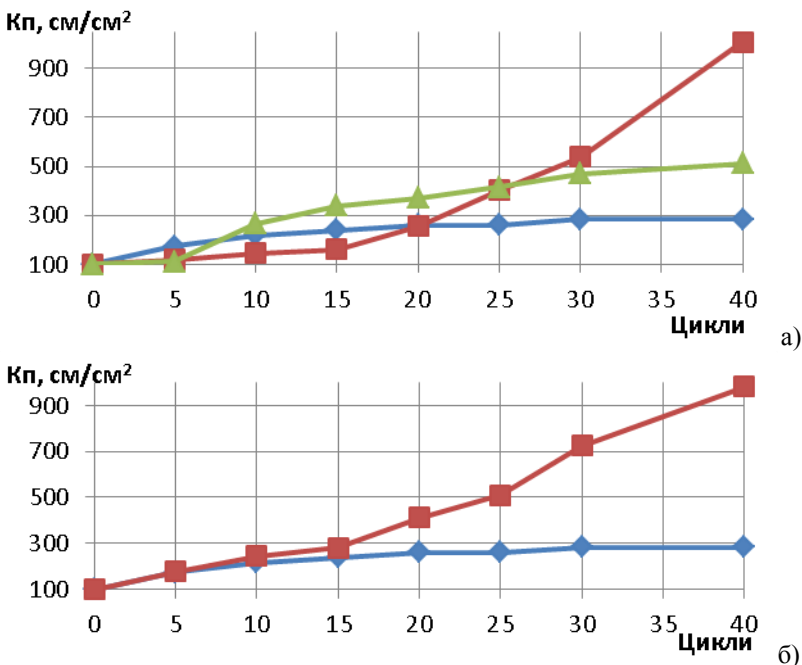


Рис. 1. Вплив кількості циклів на зміну Кп:

а) в локальній частині; б) по всьому об'єму.

- 1 – частина зразка, що проходила заморожування; 2 – частина зразка, що не проходила заморожування; 3 – контрольні зразки; 4 – зразки що проходили заморожування всебічно

Результати експерименту показують, що коефіцієнт пошкодженості змінюється як в частині зразка, що проходила заморожування і відтаювання, так і в частині, що знаходилась в плюсових температурах.

Проведені досліді дали можливість оцінити вплив всебічного і одностороннього заморожування зразків на стійкість розчину. Отримані експериментальні результати дають підставу зробити висновок, що умови впливу відємних температур на вироби і конструкції грають істотну роль в їх здатності чинити опір морозному руйнуванню. Для розкриття причин прояву виявленого феномена розроблені програми подальших досліджень.

1. Сумгин М. И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР : монография. Москва-Ленинград : Издательство Академия наук СССР, 1937.

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ
ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ, НАПОЛНЕННЫХ
МИКРОКАЛЬЦИТОМ***

Низина Т.А., Чернов А.Н., Низин Д.Р.

*(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск, Россия)*

***Abstract.** This article presents the results of experimental studies of the effect of microcalcite of three different fractions on the properties of epoxy coatings. Optimization has been carried out to determine rational compositions using the method of experimental-static modeling in the fields of five indicators.*

***Key words:** epoxy coatings, microcalcite, concrete bases, degree of filling, binder consumption, multi-criteria optimization.*

В настоящее время материалы на основе синтетических полимеров активно используются в самых разных отраслях экономики [1, 2]. В строительстве наибольшее применение нашли композиты на основе эпоксидных смол, активно используемые в качестве защитно-декоративных покрытий [3–5]. Основным недостатком составов полимерных покрытий является их высокая стоимость, обусловленная, в первую очередь, стоимостью полимерного связующего, для снижения расхода которого в состав смеси вводятся различные наполнители [6]. Однако, стремление снизить стоимость за счет повышения степени наполнения может приводить к существенному ухудшению эксплуатационных показателей, что создает необходимость поиска оптимальных составов, обеспечивающих гарантированные уровни основных характеристик при наименьшем расходе связующего.

Как известно, подбор оптимального соотношения различных компонентов составов полимерных покрытий осложняется необходимостью анализа многочисленных вариантов рецептур, вследствие чего качественное решение задач, возникающих в ходе оптимизации композиционных материалов, невозможно без использования средств математического моделирования и

компьютерных методов анализа. На сегодняшний день широкое применение получил предложенный В.А. Вознесенским и Т.В. Ляшенко метод экспериментально-статистического моделирования [7, 8].

В рамках данной работы производилась оптимизация составов полимерных покрытий на основе эпоксидного связующего Этал-27НТ/12НТ, наполненного микрокальцитом 3 различных фракций: МКМ1, МКМ2 и МКМ3. Степень наполнения эпоксидные связующих фиксировалась на уровнях 40, 60 и 80% от предельного содержания наполнителя, составляющего для МКМ1 (V_1), МКМ2 (V_2) и МКМ3 (V_3) соответственно – 300, 250 и 200 мас. ч. на 100 грамм эпоксидного связующего. Планирование эксперимента осуществлялось на основе треугольных диаграмм Розебома-Гиббса. При планировании соблюдалось условие $V_1 + V_2 + V_3 = 1$.

Ранее были проведены исследования влияния степени наполнения и фракционного состава микрокальцита на физико-механические характеристики наполненных эпоксидных композитов [9, 10], а также на эффективность совместной работы получаемых на их основе полимерных покрытий с бетонными основаниями [11], по результатам которых были рассчитаны коэффициенты полиномиальных уравнений и построены линии равного влияния.

При многокритериальной оптимизации составов полимерных покрытий на контролируемые свойства были наложены следующие ограничения: предел прочности композитов при сжатии $\sigma_{сж} \geq 65$ МПа; предел прочности композитов при изгибе $\sigma_{изг} \geq 60$ МПа, повышение предела прочности при изгибе и прогиба бетонных образцов с полимерными покрытиями не менее, соответственно, чем в 1,6 и 2,1 раза относительно образцов без покрытия.

Для определения наиболее оптимальных рецептурных решений, при которых возможно достижение необходимых показателей исследуемых свойств использовался метод экспериментально-статистического моделирования [7, 8]. Для его реализации генерировалось множество равномерно-распределенных точек (составов) в исследуемых диапазонах переменных. После чего был произведен расчет предсказанных значений исследуемых характеристик, сортировка и подсчет количества величин, удовлетворяющих заданным условиям. Для графической интерпретации полученных результатов использовались полигоны частот распределения исследуемых характеристик (рис. 1).

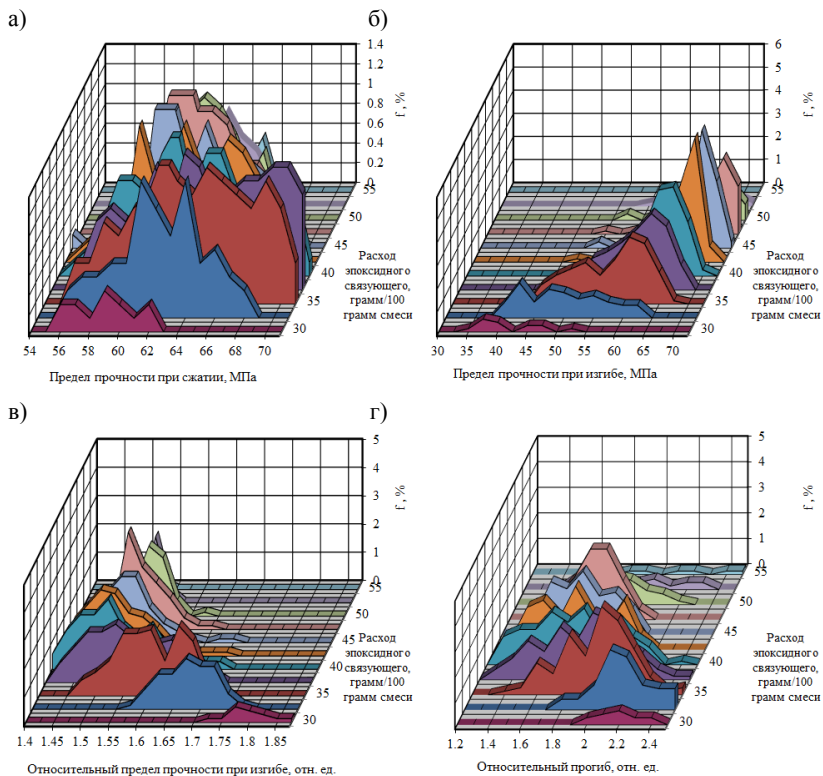


Рис. 1. Полигоны изменения пределов прочности при сжатии (а) и изгибе (б) наполненных эпоксидных композитов, относительного предела прочности (в) и прогиба (г) бетонных образцов с полимерными покрытиями относительно бетонного образца без покрытия в зависимости от расхода связующего на 100 граммов смеси

Ключевым фактором, влияющим на стоимость составов, является расход эпоксидного связующего. Установлено, что изменение данного показателя оказывает значительное влияние на частоту появления составов, соответствующих необходимым уровням исследуемых свойств. С уменьшением расхода происходит смещение диапазона значений относительного предела прочности при изгибе (рис. 1, в) и относительного прогиба (рис. 1, г) в область более высоких значений, однако количество составов, соответствующих выбранным критериям прочности при сжатии и изгибе полимерных композитов, существенно снижается. К примеру, уменьшение количества полимера с 40 до 30 г на

100 г смеси приводит к сужению диапазона значений прочности при сжатии (рис. 1, а) с $55 \div 71$ МПа до $56 \div 62$ МПа, а также уменьшению числа решений, отвечающих требуемому уровню данного показателя. При расходе связующего менее 32,5 грамм на 100 грамм смеси получение составов с необходимыми значениями прочности при изгибе становится не возможным.

При анализе совокупности рецептурных решений, принадлежащих множеству, образованному пересечением областей допустимых значений, полученных для всех контролируемых показателей, установлено, что обеспечение требуемых уровней эксплуатационных характеристик при расходе эпоксидного связующего не более 35 грамм на 100 грамм наполненной полимерной смеси возможно только при степени наполнения 80% с использованием микрокальцита фракций МКМ1 и МКМ3 при их содержании от 0,4 до 0,6 отн.ед., а также фракции МКМ2 при ее доле не более 0,25. Для упрощения технологии получения составов наполненных эпоксидных покрытий целесообразнее применять микрокальцит двух видов – МКМ1 и МКМ3, что обусловлено возможностью получения составов с требуемыми характеристиками при варьировании соотношения фракций в диапазоне от 0,4 до 0,6.

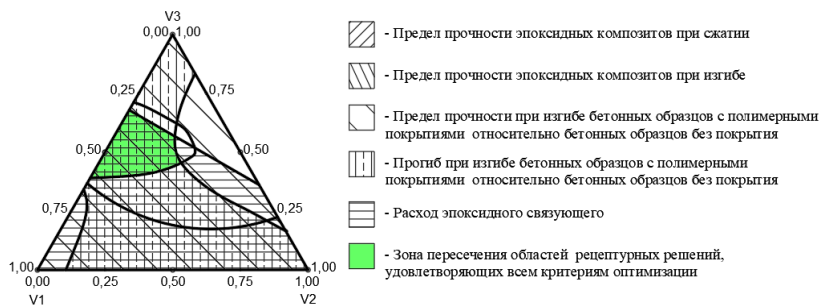


Рис. 2. Зона пересечения областей допустимых значений пределов прочности композитов при сжатии и изгибе, относительного предела прочности и прогиба при изгибе бетонных образцов с полимерными покрытиями (относительно бетонных образцов без покрытия) при условии расхода эпоксидного связующего не более 35 грамм на 100 г смеси в зависимости от фракционного состава микрокальцита при степени наполнения 80%

Учитывая, что составы с необходимыми эксплуатационными и экономическими характеристиками имеют степень наполнения 80%, графически множество отвечающих предъявленным требованиям рецептурных решений может быть представлено в виде зоны пересечения областей допустимых значений исследуемых показателей (рис. 2).

В результате проведенной оптимизации были выявлены составы защитно-декоративных покрытий, обладающие комплексом высоких эксплуатационных характеристик при обеспечении минимального расхода эпоксидного связующего. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют о высокой перспективности применения методов экспериментально-статистического моделирования для многокритериальной оптимизации составов строительных материалов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-08-01050.

1. Хозин В.Г. Основные области применения эпоксидных материалов в технике // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 11. С. 12-16.

2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. – 4-е издание, исправленное и дополненное / под ред. А.А. Берлина. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 592 с.

3. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с.

4. Низина Т.А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.

5. Селяев В.П. Низина Т.А., Цыганов В.В. Разработка и применение функционально-градиентных покрытий для усиления и защиты железобетонных конструкций // Вестник ТГАСУ. 2008. № 3 (20). С. 143-149.

6. Handbook of fillers for plastics / edited by H. S. Katz, J. V. Milewski. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. – 467 pp.

7. Вознесенский В. А. Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.

8. Ляшенко Т.В. Вознесенский В. А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2017. – 168 с.

9. Влияние гранулометрического состава микромамора на физико-механические характеристики наполненных эпоксидных композитов / Т.А. Низина, А.Н. Чернов, М.А. Морозов, Д.Р. Низин, А.И. Попова // Вестник МГСУ. 2016. №9. С. 98–107.

10. Filled epoxy composites based on polyfraction microcalcite / J.A. Sokolova, A.N. Chernov, D.R. Nizin, A.I. Popova, N.S. Kanaeva // Magazine of Civil Engineering. 2018. №83(7). Pp. 83–91.

11. Анализ совместной работы наполненных микрокальцитом полимерных покрытий с бетонными основаниями / Т.А. Низина, А.Н. Чернов, Д.Р. Низин, А.И. Горенкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. №9. С. 32-42.

МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО ШТУКАТУРНОГО ПОКРЫТИЯ

Парута В.А., Гнып О.П., Лавренюк Л.И., Гринева И.И.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Abstract. The model of destruction of polymer-cement plaster coating was considered. It was shown that the use of lime cement binder, redispersible polymer powder, polymer fiber, cellulose ethers, fine aggregate with low modulus of elasticity, etc., made it possible to reduce the number of cracks during hardening and slow down the development of cracks during operation of the wall construction.

Keywords: plaster coating and a model of its destruction.

Срок эксплуатации стеновой конструкции зависит от количества трещин в штукатурном покрытии, контактной зоне между ним и кладкой, а также скоростью их роста (развития).

В ранее опубликованных работах [1-3] были рассмотрены процессы, происходящие при нанесении и твердении штукатурного покрытия без добавок и разрушение системы «кладка - покрытие» при эксплуатации. Выявлено, что она разрушается по двум схемам: образование и развитие трещин в штукатурном покрытии и контактной зоне его с кладкой. Причинами этого являются напряжения, вызванные усадкой покрытия из-за потери влаги и твердения цемента, структурной неоднородностью материала, разностью деформаций покрытия и кладки и др.

Для уменьшения трещинообразования в покрытии, при его нанесении и твердении, снижения скорости развития этих трещин, при эксплуатации стеновой конструкции, были использованы цементно-известковое вяжущее, редиispersируемые полимерные порошки (РПП) и полимерная фибра, эфиры целлюлозы, мелкий наполнитель и наполнитель с низким модулем упругости.

Рассмотренная модель разрушения показала, что механизм разрушения покрытия с добавками, отличается механизма разрушения покрытия без них, и это обусловлено структурой материала. При твердении смеси, с ними, образуется полимерцементный конгломерат,

свойства, и характер разрушения которого предопределяется макро- и микроструктурой. Макроструктура представляет собой полимерцементную матрицу соединяющая зерна мелкого заполнителя и полимерную фибру. Микроструктура включает кристаллические новообразования, гидросиликатный гель, не полностью гидратированные зерна цемента, поры и другие дефекты.

Кристаллические новообразования имеют жесткую структуру, а полимерные мембраны, образовавшиеся в результате полимеризации водной дисперсии редуцируемого полимерного порошка (РПП), проникли между кристаллами новообразований, в межзерновое пространство, поры и трещины, выполняя функцию «шарниров» и дополнительного связующего (рис. 1).

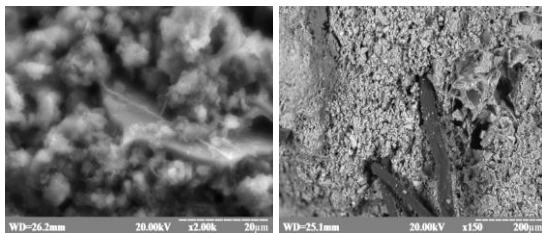


Рис. 1. Структура полимерцементного штукатурного раствора

Введение в смесь РПП, мелкого заполнителя с низким модулем упругости, полимерной фибры, позволило снизить модуль упругости штукатурного покрытия (E_c), повысить его коэффициент пластичности (μ) и деформативности (D_m) [4].

$$E_c = \Phi_j \cdot E_j \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad , \quad (1)$$

где V_f, V_m – объемное содержание полимерной фибры и полимерцементной матрицы;

Φ_j – коэффициент армирования композита;

E_j, E_m – модуль упругости полимерных волокон и полимерцементной матрицы.

$$D_m = \frac{q_{пг} \cdot E_{пг}}{(q_k \cdot E_k + q_{пг} \cdot E_{пг}) \cdot q_k \cdot E_k} \quad , \quad (2)$$

где $q_k, q_{пг}$ – объём кристаллической и полимергелевой частей в единице объема полимерцементной матрицы;

$E_k, E_{пг}$ – модуль упругости кристаллической и гелевой части полимерцементной матрицы;

$q_k \cdot E_k, q_{пг} \cdot E_{пг}$ – жесткость кристаллической и полимергелевой части матрицы.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{tot}}}{\varepsilon_{\text{el}}} ; \quad (3)$$

где ε_{tot} – величина упругих деформаций; ε_{el} – величина полных деформаций образца на стадии, предшествующей разрушению.

Это привело к уменьшению величины напряжений в материале, повышению энергии разрушения и изменение характера разрушения с хрупкого на упруго-вязкий [5].

При увеличении нагрузки происходит упруго-пластическое деформирование зоны предразрушения трещины и включается механизм стабилизации, за счет деформации цементного геля, а трещина приостанавливает свой рост.

В дальнейшем, при увеличении деформаций и напряжений, возобновляется ее рост. Так как на этом этапе релаксация напряжений из-за пластической деформации цементного геля становится неэффективной, то включается новый «механизм торможения трещины», за счет «ловушки» расположенной в ее вершинной области (полимерная мембрана или наполнитель с низким модулем упругости) (рис. 2.).

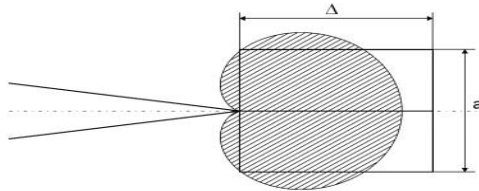


Рис. 2. Стабилизация роста трещины из-за наличия в вершине трещины «ловушки»

Из-за этого рост трещины, тормозится вплоть до полной ее остановки на значительное время, она может даже «закрывается» при смене растягивающей деформации, сжимающей.

После разрушения «ловушки» трещина опять растет некоторое время до встречи с новой «ловушкой». Скорость роста трещины (dl/dN), тем меньше, чем больше пластичность и диссипативные свойства материала:

$$\frac{dl}{dN} = A (\Delta K)^n \quad (4)$$

где A – эмпирический коэффициент, n – показатель пластичности, при его увеличении скорость роста трещины замедляется, $\Delta K = K_{\text{max}} - K_{\text{min}}$ – перепад между максимальным и минимальным коэффициентом интенсивности напряжений за один цикл нагружения, N – число циклов;

При деформации покрытия полимерная фибра также создает барьер

на пути распространения трещины, обеспечивая снижение величины напряжений, выравнивание и перераспределение их в структуре материала, замедление скорости ее роста.

Так как введение в смесь РПП повысило адгезию фибры к полимерцементной матрице и выдергивающее усилие ($\sigma_{\text{вы}}$) волокна из нее, то изменился механизм разрушения материала при наличии фибры.

$$\sigma_{\text{вы}} = \tau/d \cdot [(1 - V_f) \cdot E_m / (E_f + \Phi_f \cdot V_f)] \quad (5)$$

Если при малой величине адгезии происходит «выдергивание» волокна из матрицы и в этом случае использование микродисперсного армирования не эффективно, то при высокой величине адгезии, полимерная фибра участвует в процессе демпфирования.

Первоначально, в работе принимает участие полимерцементная матрица. Деформация через нее передается к волокну. После начала роста трещин полимерцементная матрица не выключается полностью из работы, однако ее участие по мере возрастания напряжения несколько уменьшается, а возрастает роль фибры. При увеличении нагрузки она не сразу разрушается, а растягивается, замедляя рост трещины (рис. 3.).

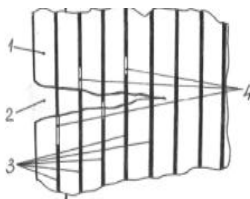


Рис. 3. Торможения развития трещины при помощи полимерной фибры: 1 – матрица; 2 – трещина; 3 – волокна; 4 – зона разрушения волокна

Так как фибра распределена не только в направлении растягивающих усилий, то материал наилучшим образом сопротивляется воздействующей нагрузке. Часть волокон работает на растяжение, а те, что расположены параллельно действующей внешней нагрузке, препятствуют смещению частичек и блоков, усиливают связность материала и снижают возникающие вторичные напряжения [6].

Связи между берегами трещины, образованные волокнами сдерживают ее развитие и замедляют разрушение покрытия. После разрыва первого волокна нагрузка через матрицу перераспределяется между отставшими целыми волокнами. При увеличении деформаций трещина, достигнув очередного волокна, «перерезает» его, это

приводит к диссипации напряжений в устье трещины и замедлению скорости её роста.

Применение вышеназванных компонентов смеси позволило снизить напряжения и количество трещин в контактной зоне «кладка-покрытие», тем самым уменьшив скорость разрушения системы «кладка-покрытие».

1. Парута В.А., Гнып О.П., Лавренюк Л.И., Русев А.Г., Цонда Д.А., Вандинский В.Ю. Проектирование состава штукатурного раствора для стен из газобетонных камней с учетом механики разрушения системы «кладка-штукатурное покрытие». *Науковий вісник будівництва*. 2014. Выпуск №2 (76). С. 102-110.

2. Парута В.А., Брынзин Е.В. Формирование структуры трещиностойкого полимерцементного штукатурного раствора для кладки из автоклавного газобетона. *Строительные материалы и изделия*. 2014. Выпуск №3. С.12-16.

3. Paruta V., Saevskij A., Brynzin E., Gusak D., Kraeva A. Theoretical bases designing of plaster solutions for wall protection of buildings and structures made of aerated concret. *Tehnički glasnik Echnical jornal Godište*. 2014. Vol. 8, №4. P. 346-349.

4. Куксенко В.С., Орлов Л.Г., Фролов Д.И. Концентрационный критерий укрупнения трещин в гетерогенных материалах. *Разрушение композитных материалов*. Труды 1-го советско-американского симпозиума. Рига. 1979. С.180-183

5. Выровой В.Н., Абдыкальков. А.Б. Моделирование и оптимизация процессов структурообразования композиционных материалов. Общество "Знание" Украины. Киев. 1985. 16 с.

6. Деревянко В.Н. Композиционные материалы армированные органическими волокнами. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 1988. Выпуск № 7.С. 203 -204.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Семенова С.В., Колесников А.В., Дуков И.М.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

***Abstract.** A method of geometric analysis of the decrease in the strength of hardening composites in relation to the theoretical one is proposed. Features of wave fronts and hidden interfaces arising during structure formation in the model system are considered as sources of strength loss.*

***Keywords:** strength, structure formation, wave fronts, features, hidden interfaces*

Одной из задач исследования строительных композиционных материалов является приближение важных эксплуатационных свойств к теоретическому пределу с помощью подбора оптимального состава и структуры. Важнейшими характеристиками композитов является их прочность. Теоретический предел прочности при разрыве можно оценить при помощи формулы Орована (1):

$$\sigma_m = \left(\frac{\alpha E}{r_0} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где α – свободная поверхностная энергия твердого тела, E – модуль Юнга в направлении растяжения, r_0 – расстояние между атомами в недеформированном состоянии. Учитывая, что максимум упругой силы соответствует 10-20% удлинения межатомной связи, имеем (2):

$$\sigma_m = \chi_0 E \quad \chi_0 \approx 0,1. \quad (2)$$

Известным экспериментальным фактом является реализация при разрыве или сдвиге прочностных характеристик, в несколько порядков меньших теоретических значений. Основной причиной такого существенного уменьшения прочности является наличие в структуре материала концентраторов напряжений – скоплений дислокаций для монокристаллов, структуры трещин и внутренних границ раздела в

материалах и, в частности, строительных композитах. Композиционные материалы стохастической иерархической структуры характеризуются парциальными вкладами подструктур различных масштабных уровней в снижение прочности. Изучение природы и устранение этих разномасштабных вкладов представляются одним из путей совершенствования свойств материалов.

Часть прочности теряется на мезоскопических уровнях (5-100 мкм). Возникновение концентраторов напряжения на указанных масштабах может быть интерпретировано на основе относительно простых физико-геометрических моделей. Основой предлагаемого метода моделирования являются следующие предположения о природе материала:

1. Процессы структурообразования в исследуемом композиционном вяжущем имеет коагуляционно-кристаллизационный характер с образованием мелкокристаллической и кристаллической структуры.

2. В рассматриваемом материале реализуется так называемая β -модель по Колмогорову [1] – рост новообразований осуществляется на основе внесенных в начальный период центров кристаллизации.

Рассматриваемым предположениям лучше всего соответствуют, в частности, гипсовые композиты [1].

Одним из обоснованных наборов предположений для моделей процессов структурообразования в материалах рассматриваемых типов представляются следующие утверждения:

1. Композиционный материал, содержащий вяжущее, заполнители, наполнители и добавки, упрощенно представимы как пассивная дисперсная фаза, рассеянная в дисперсионной среде, соответствующей вяжущему тесту.

2. Среда состоит из активных бистабильных элементов, два состояния которых соответствуют: 1 – схватившемуся вяжущему материалу и 0 – вяжущему компоненту в пластично-вязком состоянии.

3. Процесс схватывания рассматривается как волна переключения в этой среде, что упрощенно отображается на рис. 1.

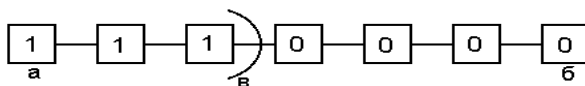


Рис. 1. Процесс схватывания как волна переключения:

а – модельная твердая фаза, б – пластично-вязкая масса вяжущего,
в – фронт переключения (твердения)

В рассматриваемых условиях волна отвердевания подчиняется принципу Гюгенса. Пусть 1 – уравнение фронта волны твердения (3).

$$S(X, t) = 0. \quad (3)$$

Здесь $X = \{x, y, z\}$ – пространственные координаты. Точки, соответствующие поверхности 1, являются источниками вторичных волн твердения. Положение распространяющегося фронта задается огибающей всех вторичных фронтов (4) (рис.2):

$$S(X, t + dt) = 0. \quad (4)$$

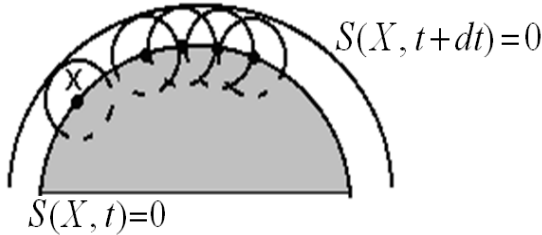


Рис. 2. Принцип Гюгенса распространения вторичных волн для процессов твердения

Для систем подобного рода оказывается справедливым «оптический» принцип Ферма о минимальном времени распространения процессов твердения: если твердение, распространяясь из точки А по всевозможным направлениям, уже дошло по какому-либо пути до точки В, то все другие соединяющие эти точки пути, по которым проходит твердение за большее время, уже не имеют значение.

Одним из преимуществ рассматриваемого подхода является возможность описания процессов в рассматриваемых системах с помощью уравнений Гамильтона – Якоби (5) и канонических уравнений Гамильтона:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + H\left(x, y, z, \frac{\partial S}{\partial x}, \frac{\partial S}{\partial y}, \frac{\partial S}{\partial z}\right) = 0. \quad (5)$$

Здесь H – функция Гамильтона, определяемая свойствами среды, уравнение (4) задает распространение процессов твердения в форме волновых фронтов. В среде со сложными геометрическими характеристиками волновые фронты имеют особенности и подвергаются метаморфозам (рис.3). Одной из типичных волнового фронта является «ласточкин хвост» (А3), имеющий ребра возврата и кривые самопересечения (рис.3, пунктир).

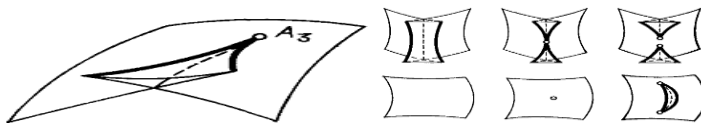


Рис. 3. Типичные особенности и метаморфозы волновых фронтов

Рассмотрим процессы, протекающие в композиционном материале. В области кривых самопересечения происходит соприкосновение растущих волновых фронтов твердой фазы с различными структурными характеристиками. Здесь следует ожидать возникновения разномасштабных концентраторов напряжения. Ребро самопересечения волнового фронта – одна из разновидностей «скрытых» границ раздела (не обнаруживаемых с помощью оптических методов).

Аргументация, проведенная в подобной же последовательности, заставляет искать структуры – концентраторы напряжений вблизи особенностей волновых фронтов и каустик.

Рассматриваемую пассивную точку зрения на процессы формирования прочностных характеристик возможно превратить в активную, если прибегнуть к целенаправленной организации структуры твердения. Это можно осуществлять несколькими методами: использованием форм заданной геометрии, что возможно реализовать на значительных пространственных масштабах, а также формированием активных поверхностей с помощью создания на них готовых центров кристаллизации (например, покрытия заполнителя заданной геометрии слоем двуводного гипса и формированием гипсового композита на его основе).

Теоретические и расчетные аспекты формирования геометрической структуры концентраторов напряжения, а также варианты управления структурообразованием геометрическими методами могут быть основаны на рассмотренной концептуальной схеме.

1. Колесников А.В., Семенова С.В., Казмірчук Н.В., Кириленко Г.А. “Дослідження структуроутворення гіпсових композитів на основі рівнянь Колмогорова”, *Вісник ОДАБА*, 2020, №78. С.97-107.

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ В СОСТАВЕ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

¹Сердюк В.Р., ²Рудченко Д.Г.

(¹Винницкий национальный технический университет,

²ЗАТ «Аерос» г. Обухов)

Abstract. *The analysis of the main directions of reducing the energy intensity of the production of autoclaved aerated concrete by using mineral additives.*

Keywords: *aerated concrete, energy saving, additives.*

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), структура мирового конечного потребления энергии в 2018 году выглядела следующим образом: здания - 31%, промышленность - 29%, транспорт - 29%, остальное - 11%.

Во всем мире нарастает тенденция к экономии энергии, что связано с ростом стоимости энергоносителей и глобальной проблемой, к которой приковано внимание человечества - это повышение температуры, изменение климата и необходимость снижения энергопотребления и выбросов парниковых газов.

Повышение нормативных требований к показателям термического сопротивления ограждающих конструкций [1] кардинально сменило структуру рынка стеновых строительных материалов. Газобетон автоклавного твердения существенно потеснил на строительном рынке более энергоемкие в производстве и не достаточно энергоэффективные в условиях эксплуатации традиционные стеновые материалы (глиняный и силикатный кирпич, керамзит, керамзитобетон).

В 2019 году доля газобетона в структуре стеновых материалов Украины составила 53%, других соседних странах 40-60%, а Беларусь стала мировым лидером по производству газобетона на душу населения и экспортером этой продукции в соседние страны.

В работе [2] приведены сравнительные данные основных строительных материалов по энергоемкости производства. Самым энергоемким строительным материалом является сталь, для производства

1 т которой требуется 32290 МДж тепловой энергии. Для производства 1 т портландцемента требуется энергии в 8 меньше, кирпича - в 12, железобетона - в 16, тяжелого бетона - в 23, ячеистого бетона в 25 раз.

Многолетний опыт производства стеновых материалов показал, что на производство полнотелого кирпича необходимо $900 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, пустотелого - $600 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, а автоклавного газобетона - $320 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

Сама технология производства автоклавного газобетона характеризуется достаточно энергозатратными технологическими процессами и связана с помолом песка, автоклавной обработкой изделий при $200 \text{ }^\circ\text{C}$ при избыточном давлении перегретого пара 12-14 бар, высокой энергоёмкостью исходных сырьевых компонентов (цемент, известь).

В условиях эксплуатации стена с газобетона D300 обеспечивает несущую способность зданий до 3 этажей и, что особенно важно, не требует дополнительного утепления, используется для строительства малоэтажного жилья и высотных каркасно-монолитных зданий.

При изготовлении газобетонных блоков пониженной плотности содержание твердых веществ в газобетонной смеси значительно снижается (например, с 568,3 кг на 1 м^3 газобетона при плотности $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ до 276,7 кг при плотности $300 \text{ кг}/\text{м}^3$, т.е. расход сырья сокращается на 51%). Кроме того, производство таких блоков менее энергоёмкое. При автоклавной обработке изделий время их выдержки в автоклаве может быть сокращено на 1,5-2 часа. Это объясняется более пористой структурой газобетонной смеси, что позволяет насыщенному пару быстрее проникать вглубь и прогреть изделие [3].

На рис. 1 приведены некоторые направления снижения энергоёмкости производства автоклавного газобетона. На отдельных передовых современных заводах они отчасти уже реализованы. Передовые предприятия постепенно переходят на производство газобетона с более низкой плотностью при сохранении его прочностных показателей. На многих заводах имеет место полный возврат отходов (горбушки) в технологию производства газобетона, используется энергия конденсата для обогрева сырца и хозяйственных целей.

Компания «Аегос» первая на постсоветском пространстве отказалась от производства газобетона плотностью $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ и выше и одна из первых начала масштабное производство конструктивно-теплоизоляционного газобетона плотностью $300 \text{ кг}/\text{м}^3$ и эффективного теплоизоляционного газобетона марки D200 и D150. Газобетон D300 имеет прочность при сжатии - 2,5 МПа, теплопроводность в сухом состоянии - меньше $0,08 \text{ Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$, в условиях эксплуатации с учетом равновесной влажности $0,09 \text{ Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$.



Рис. 1. Некоторые пути снижения энергоёмкости производства автоклавного газобетона

Многие заводы в странах ЭС в качестве кремнеземистого компонента используют золу-вынос вместо кварцевого песка. Совместное использование золы-вынос и добавки гипсового камня [4] обеспечивает повышение прочностных характеристик газозобетона: предел прочности на сжатие увеличился до 3,2-3,4 МПа, прочность на изгиб увеличивается до 0,6 МПа, что соответствует значению $R_{изг}$ для газобетона марки D500 без гипса. Усадка при высыхании снижается до 0,45 мм/м.

На современных заводах по производству автоклавного газобетона ручной труд практически отсутствует или сведён к технологическому контролю за отдельными операциями. В этой связи предусмотрено использование большого количества манипуляционных действий агрегатов, механизмов, работающих в автоматическом режиме. Замена гидравлических приводов на электромеханические, приводит к экономии электроэнергии и расходов на их обслуживание. Применение инновационной система рекуперации электроэнергии при торможении позволяет преобразовать энергию торможения и направить ее в систему электроснабжения.

Наибольший потенциал экономии энергии при производстве автоклавного газобетона приходится на минеральное вяжущее автоклавного газобетона, это цемент и известь-кипелка. Анализ результатов большого количества производственных испытаний, проведенных многими авторами подтвердил то, что автоклавный бетон,

полученный на основе чисто клинкерного портландцемента, имеет более низкие основные физико-механические характеристики, чем на цементе с добавкой шлаков.

Украина имеет большой потенциал по использованию доменных гранулированных шлаков (ДГШ). С 2015 года украинский ДГШ поставляется в Польшу, Великобританию, страны Балтии, Молдову, Белоруссию, Германию, Швейцарию, в общем – около 20 стран ЕС.

ДГШ являются техногенным минеральным продуктом, который содержит огромный потенциал гидравлической активности. Для повышения активности шлаковых вяжущих используют преимущественно щелочную и сульфатную активацию, а по данным [5] возможна также и кислотная активизация шлаков.

Результаты комплексной проверки эффективности карбонатных добавок в составе автоклавного газобетона в условиях высоких температур (200 °С) и избыточного давления перегретого пара приведены в работе [6]. Исследования показали возможность замены 20% цемента карбонатной добавкой.

По данным [7] добавка известняка в цементе аналогично добавке гипса может регулировать и влиять на схватывание цемента и скорость реакций гидратации C_3A и C_3S . Наилучший эффект от применения известняка в цементе достигается при повышенном содержании C_3A в клинкере. Установлено, что известняк не является инертным растворителем, а в процессе гидратации портландцемента реагирует с C_3A с образованием карбоалюминатов кальция. При этом имеет место образование как высококарбонатной формы карбоалюмината $C_3A \cdot 3CaCO_3 \cdot 32H_2O$, так и низкокарбонатной $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$.

Эти новообразования в определенной степени являются аналогами высокосульфатной формы (этtringита) и моносульфатной формы сульфалюминатов кальция. Они выполняют важную роль на стадии формирования макроструктуры газобетонного сырца при высоком В/Т отношении смеси, значение которого приближается к 0,7 и на стадии формирования новообразований при автоклавной обработке смеси.

При проведении испытаний в качестве карбонатной добавки нами была выбрана добавка опоковидного мергеля (ОМ), содержащая $CaCO_3$, SiO_2 , Al_2O_3 , которые принимают участие в автоклавном синтезе новообразований [8].

Из сырьевой смеси газобетона D400 без газообразователя формовались стандартные балочки, которые по аналогии с газобетоном выдерживались в камерах предварительного твердения и автоклавировались в промышленном автоклаве (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние добавки ОМ на прочностные свойства плотной силикатной смеси

Показатели	Количество добавки опоковидного мергеля, %				
	0	5	10	15	20
Масса образца, гр.	313	328,7	335,5	316,1	313,4
Прочность на изгиб, МПа	1,418	2,345	1,672	1,838	2,528
Прочность на сжатие, Н/мм ²	1,42	1,56	0,95	0,99	1,44

Как видно из табл. 1 при дозировке добавки 5% от массы сухих компонентов имеет место прирост прочности при изгибе соответственно на 16% и на сжатие на 11 %, при увеличении дозировки 10% и 15% прирост прочности несколько снижается, но выше контрольного. При дозировке добавки 20% прочность при изгибе увеличивается на 18%. Прочность при сжатии автоклавированной плотной силикатной массы с добавкой 5% карбонатной добавки имеет иную зависимость. С увеличением дозировки добавки до 10% и 15% происходит снижение прочности, а с увеличением добавки до 20% прочность образцов выходит на уровень контрольного образца. Полученные результаты влияния добавки на прочностные свойства плотных образцов являются предварительными и подлежат проверке и оптимизации в поризованном виде с использованием алюминиевой пудры.

1. ДБН В.2.6-31 2016 Тепловая изоляция зданий. Киев, Минрегионстрой Украины. 2017. 37 с. 2. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2017, №1. С. 9-16. 3. Клаус Бонеманн. WERNHANN в странах СНГ и Балтии: более 35 заводов за десять лет. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №8, 2014. С. 41-43. 4. Вишневский И.А., Бовыкин И.А. Производство автоклавного газобетона пониженной плотности. Материалы НПК «Современный автоклавный газобетон», 2013. Краснодар. С. 106-109. 5. Большаков В.И., Бондаренко М., Головки А.И. и др. Направления и использования отходов металлургической, горнорудной и химической промышленности в строительстве. Днепропетровск, ПДАБиА, 1998 104 с. 6. Воробьев А.А., Елдьфиров В.И. Влияние карбонатных добавок на долговечность ячеистых бетонов. Весник РУДН, СР Инженерные исследования, 2001, №1. С. 86-89. 7. Штарк Й., Бернд В. Цемент и известь / Пер. с нем. А. Тулаганова под ред. П. Кривенко. К.: Оранта, 2008. 480с. 8. Вінницька ОДА. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області. 2017. 247с. Електронний ресурс. Режим доступа: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/10/42320198.pdf>

СПРЯМОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕПОКСИУРЕТАНОВИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Скрипинець А.В., Сасенко Н.В., Биков Р.О., Попов Ю.В., Коврига А.В.
(Харківський національний університет будівництва та архітектури)

***Abstract.** The aim of the research is to determine the mathematical dependences of structural-rheological of epoxyurethane compositions on the ratio of concentrations of oligomer-oligomer matrix and dispersed mineral fillers.*

***Keywords:** epoxyurethane compositions, mathematical dependencies, dynamic viscosity*

Дослідження реологічних властивостей наповнених олігомер-олігомерних композицій має як науковий, так і практичний інтерес, оскільки наповнення впливає на характер структурування, і зумовлює технологію нанесення покриття відповідно [1-3]. Властивості наповнених полімерних композицій в значній мірі визначаються природою, дисперсністю і формою наповнювача, та їх характером взаємодії з олігомерної матрицею.

Тому метою досліджень є визначення математичних залежностей структурно-реологічних (динамічна в'язкість) характеристик епоксиретанових композицій від співвідношення концентрації олігомер-олігомерної матриці і дисперсних мінеральних наповнювачів.

Для опису цих залежностей доцільно використовувати рівняння другого ступеня [4]. Відповідно до математичної теорії експерименту передбачити поведінку функції відгуку дає ортогональний центральний композиційний план другого порядку. Проведення експерименту відповідно до цього плану дозволяє встановити аналітичну залежність функції відгуку (y) від відповідних факторів у вигляді поліноміальною рівняння другого ступеня.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

де x_i, x_j - незалежні змінні; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії.

Конструювання ортогонального плану другого порядку полягає в додаванні експериментальних точок до ядра повного факторного експерименту (ПФЕ), і саме, до нарощування точок, розташованих в центрі плану (на нульовому рівні факторів) і на деякій відстані від центру (в так званих «зіркових точках»). У разі двухфакторного експерименту ($K=2$) при варіюванні фактора на двох рівнях загальне число дослідів: $n=2^K+2K+1=9$, так як $2K$ - число точок ядра ПФЕ, - число зіркових точок і 1 - одна нульова точка в центрі плану.

В результаті експериментальних досліджень показано, що структурно-реологічні властивості епоксиретанових композицій в значній мірі залежать від складу олігомер-олігомерної матриці ЕД-20: ОЦК, а також від виду і вмісту наповнювачів (БС-50 і слюди).

Основними функціями відгуку є динамічна в'язкість Y_1^η , Y_{12}^η , (η).

Для обробки результатів плану експерименту була використана програма «Plan», яка дозволила значно заощадити час на обробку експериментальних даних, оцінити дисперсії коефіцієнтів і помилок спостереження, розрахувати довірчий інтервал справжнього значення коефіцієнтів, побудувати квадратичні моделі, які адекватно описують вплив вмісту олігомер-олігомерної матриці ЕД- 20: ОЦК і наповнювачів (БС-50 і слюди) на динамічну в'язкість (η).

Розрахунок коефіцієнтів регресії здійснювали за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{x_{iu}^2}, \quad (2)$$

де i - номер стовпця в матриці планування; x_{iu} - елементи i -того стовпця

Визначили значення коефіцієнтів регресії. Отримані рівняння регресії мають вигляд:

$$Y_1^\eta = 6.65 - 2.4 \cdot x_1 + 2.27 \cdot x_2 + 0.004 \cdot x_1^2 + 1.21 \cdot x_2^2 - 1.28 \cdot x_1 \cdot x_2 ;$$

$$Y_{12}^\eta = 6.04 - 2.36 \cdot x_1 + 1.07 \cdot x_2 + 0.39 \cdot x_1^2 + 0.015 \cdot x_2^2 - 0.20 \cdot x_1 \cdot x_2.$$

Перевірку однорідності дисперсій виконуємо за критерієм Кохрена [5]:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^N S_i^2}, \quad (3)$$

Дисперсія вважається однорідною, якщо виконується нерівність:

$$F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$$

Для перевірки значимості отриманого коефіцієнта регресії знаходимо його дисперсію за формулою:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n \sum_{q=1}^m (y_q^{4i} - \bar{y}_u)^2}{n(m-1)}, \quad (4)$$

Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо виконується нерівність:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f_y)} \cdot S_{b_i}, \quad (5)$$

де $t_{(0,05;f_y)}$ – 5 %-я точка розподілу Стьюдента з f_y ступенями свободи; Δb_i – довірчий інтервал для коефіцієнта регресії.

Перевірка адекватності моделі, відповідного рівняння регресії виконуємо за допомогою критерія Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05;f_{ad};f_y)}, \quad (6)$$

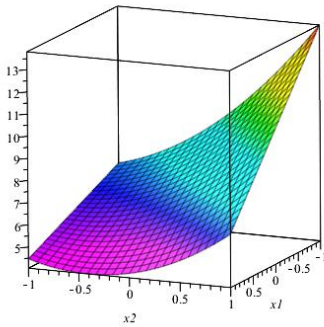
де дисперсія адекватності $S_{ay}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_n - y_{mod})^2}{f_{ad}}$; y_{mod} –

розрахункове значення відгуку в i -тому досвіді; $F_{(0,05;3;9)}$ – критерій Фішера при 5% -му рівні значущості; $f_{ad} = n - 0,5(k + 2)(k + 1)$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності $9 - 0,5(2 + 2)(2 + 1) = 3$; f_y – число ступенів свободи при визначенні помилки досвіду.

У загальному випадку, отримані квадратичні моделі, представляють собою гіперплощину в вимірному факторному просторі. Використання пакета програми «Marle» дозволило за допомогою рівняння регресії побудувати поверхні відгуку, які дають можливість зорового сприйняття відповідного геометричного образу (рис. 1, а, б).

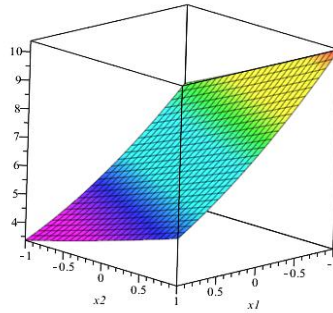
У всіх випадках гіперплощина проходить через точку $y=b_0$. Коефіцієнти регресії при лінійних членах (X_1, X_2) характеризують нахил цієї площини, а коефіцієнти регресії при X_{12} та X_{22} , характеризують кривизну цієї площини до відповідних осей. Наявність позитивної взаємодії двох факторів (X_1, X_2) у всіх отриманих рівняннях регресії означає посилення позитивного ефекту одного з взаємодіючих фактів при переході другого фактора з нижнього на верхній рівень незалежно від знака і величини коефіцієнта регресії другого фактора.

η ,
 $Pa \cdot c$



а)

η ,
 $Pa \cdot c$



б)

Рис. 1. Поверхні відгуку залежності динамічної в'язкості (η) епоксиуретанової композиції від вмісту - ЕД-20: ОЦК (x_1) і БС-50 (x_2) - (а), а також слюди (x_2) - (б)

Встановлено математичні закономірності впливу співвідношення олігомерів, а також наповнювачів на структурно-реологічні властивості епоксиуретанових полімерних матеріалів. Аналіз отриманих результатів показав, що розроблені математичні моделі адекватні з довірчою ймовірністю 95% (за критерієм Фішера), а результати дослідів відтворювані (за критерієм Кохрена).

1. Попов Ю.В. Структурно-реологические свойства смесей на основе олигоэфирциклокарбонатного и эпоксидианового олигомеров / Ю.В. Попов, А.В. Скрипинец, Н.В. Саенко [и др.] // Науковий вісник будівництва.– Х.:ХНУБА, 2012. – №70. – С. 169-173.

2. Скрипинец А.В. Реологические свойства наполненных вибропоглощающих композиций / А.В. Скрипинец, Ю.В. Попов // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, 2013. – №72. – С. 247-253.

3. Данченко Ю. М., Скрипинец А. В., Кабусь А. В. Исследование технологических и физико-химических закономерностей изготовления вибропоглощающих изделий на основе эпоксиуретановых полимерных композиций. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков, 2015. № 3/11 (75). С. 4–8.

4. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов/ [Блохин В.Г., Глудкин О.П., Гуров А.И. Ханин М.А.]. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.

5. Хамканов К.М. Основы планирования эксперимента (метод.пособие)/ К.М. Хамканов. – Улан-Удэ, 2001г.

**COMPARISON OF STRUCTURAL-RHOLOGICAL AND
PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS FOR
SPECIAL PURPOSES ON EXPERIMENTAL AND STATISTICAL
MODELS**

Tertychny A.A., Shynkevych E.S., Surkov A.I.

(Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

***Abstract.** Based on the investigations that have been made, we have done a comparative analysis of changing properties of mixtures and fine concrete based on it depending from different specific surface of finely dispersed fillers: tripoli or sand; from the content of micro-fillers: highly active metakaolin, wollastonite and water-reducing additives-superplasticizers S-3 or Melflux. Dependence of the method of preparation soluble mixtures for solutions of different functional purpose and their quality indices has been analyzed in this research. Mixtures were prepared in traditional or high-speed mixers. The influence of type, structure and dispersion of fillers on the properties of building mixtures is analyzed taking into account technological conditions of their preparation and solutions based on that.*

***Keywords:** multifunctional modifier, macro and micro fillers, activation, mathematical models, optimization.*

Based on the investigations that have been made, we have done a comparative analysis of changing properties of mixtures and fine concrete based on it depending from different specific surface of finely dispersed fillers: tripoli or sand; from the content of micro-fillers: highly active metakaolin, wollastonite and water-reducing additives-superplasticizers S-3 or Melflux.

Purpose of the study is development of the compositions highly mobile mixtures modified by micro- and macro-fillers modified by silica additives of different origin and structure, analysis of the influence of technological parameters of the preparation of mixtures and building mortars for various purposes and preparation the multifunctional solutions with high physical, mechanical and operational properties based on it [1-2].

Non-activated mixtures (NAM) are not delaminated. For activated mixtures with a S-3 content $<1\%$ and in the absence or minimum WL content, the delamination index exceeds the norm.

Solidification time is adjusted by composition and preparation conditions.

The beginning of solidification terms is within $50 \div 180$ min, and the time interval between the beginning and the end of solidification (the availability period or the pot life) is 120-270 min depending on the type of finely ground fillers, workability and preparation conditions of the mixtures.

Compressive strength analysis shows that combined use of WL and HMK has a positive effect on f_{cm} , increasing δf_{cm} to 25 % (for NAM-S). Due to the synergistic interaction of all the selected factors, taking into account the conditions for the preparation of the mixtures, the range of changes in δf_{cm} varies: with fine-ground tripoli - by 1.54 times, with fine-ground sand - by 2.1 times [3].

Bending strength analysis shows that WL, which performs the function of micro reinforcement similar to HAMK, synergistically interact with each other, as a result, the variation range of δf_{ctfm} increases to 2 times. The prevailing influence on δf_{ctfm} has an HAMK + WL.

Maximum and minimum strength values f_{cm} and δf_{ctfm} significantly exceed the values rated by standard norms for different types of mortars, including floor elements: tie bars TB1, TB2, TB3 – 3.5; 4.5; 6 MPa, floor coverings FC1, FC2 – 5 MPa, repair compounds RC3 ≥ 5 MPa, for seams embedment ≥ 7 MPa, for masonry of all types of blocks MS2, MS3 ≥ 7 MPa. On average, the values of f_{cm} and δf_{ctfm} differ by more than 2.5 times. General trends for the four types of mixtures are different. It should be noted the positive synergistic effect from the influence of both micro-fillers (WL, HAMK, S-3) and macro-fillers dispersion.

The water resistance of compounds on tripoli is higher than compounds on thin sand. Softening factor in the first case $K_{sf}=0.82 \div 1$, which is associated with the formation of secondary water-resistant calcium hydrosilicates as a result of the interaction of amorphous silica with Portland cement. The greatest influence on K_{sf} is exerted by S_{ss} .

The water absorption of modified concrete, which characterizes the porosity and penetration of liquids and gases, does not exceed 3-6 %, primarily due to the replacement of quartz ground sand with tripoli with $S_{ss} = 300$ and $600 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Crack resistance varies by 2 times: from 0.5 to $1 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{-0.5}$. General trends in crack resistance of activated and non-activated mixtures are different. Areas of maximum values of crack resistance on non-activated mixtures are achieved at maximum content of HAMK, S-3 and WL.

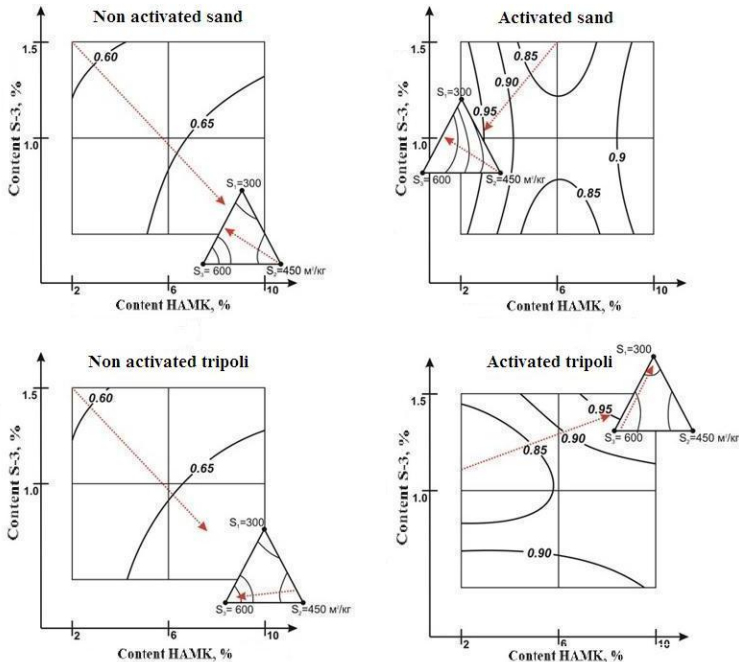


Fig 1. Crack resistance four different types of solute

Based on the analysis of the results of experiments and ES-modeling, 2 types of polyfunctional modifier (PFM) are recommended: for internal work of PFM/T - with tripoli and for external work of PFM/QS - with quartz sand. These compounds are classified by density as lightweight and dense.

As a result of the studies performed, individual dry building mixtures (GBC) and universal compositions for PFM for these GBC were proposed.

1. Shynkevych E., Lutskin Y., Tertychny A., Bondarenko I., Myronenko I. Nanotechnological and energy-saving methods of production of building composites. *Matec Web of Conferences, Transbud. Vol.116. Kharkiv. - 2017. - pp.10 (Scopus)*

2. Sopov V., Dolgiy V., Latores K., Zhuravlov Y. High-mobility concrete mixes for concrete-filled steel tube structures of complex cross-section. *International Journal of Engineering and Technology, 2018. - No.7 - pp. 295-300 (Scopus)*.

3. Sanytsky M. Marushchak U., Sanytsky M., Mazurak T., Olevych Y. Research of nanomodified Portland cement compositions with high early age strength. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 6/6. - 2016. - pp. 50- 57.*

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГРУНТОЦЕМЕНТУ ШТУЧНИХ ОСНОВ

Трегуб О.В., Кірічек Ю.О., Комісаров Г.В.

(Придніпровська державна академія будівництва та архітектури)

***Abstract.** The method of determining mathematical models of the optimal content of binder for fixing the soils of the foundations of buildings and structures is considered. Experimental relationships between the mechanical characteristics of soil cement and the binder content are presented in the article.*

***Keywords:** shallow foundations, artificial foundations, binders, soil cement, regression equations.*

Застосування штучних основ будівель та споруд в практиці будівництва обумовлене складними інженерно-геологічними умовами, що поширені на території України. Поліпшення механічних властивостей структурно-нестійких ґрунтів є вимогою будівельних норм. В таких випадках основи споруджують у вигляді закріпленого геомасиву або ґрунтових подушок та улаштовують елементи армування.

Ґрунти, закріплені в'язучим матеріалом, можуть використовуватись в якості основ будівель, споруд та конструктивних шарів дорожніх одягів. Закріплення передбачає внесення у ґрунт в'язучих матеріалів з добавками або без них, рівномірний розподіл в масиві, ущільнення та забезпечення умов для формування заданих структурно-механічних властивостей штучного матеріалу. Для цього можливе використання мінеральних в'язучих (портландцемент, шлакопортландцемент, вапно, шлами тощо), органічних в'язучих (нафтові та в'язкі бітуми, бітумні емульсії), синтетичних полімерів та фосфатів [1]. Проведені дослідження підтверджують ефективність методів закріплення ґрунтів на основі мінеральних в'язучих - із портландцементів [2]. Ґрунтоцемент являє собою штучно створений матеріал, в якому ґрунтові частинки зв'язані між собою у моноліт

цементним каменем. Для забезпечення необхідних механічних властивостей та задоволення умов за розрахунковим опором і осіданнями фундаментів мілкого закладання у багатьох випадках достатньо низького вмісту цементу для закріплення глинистих ґрунтів.

Одним із ресурсозберігаючих рішень для будівель та споруд є зведення ґрунтових подушок зі змінною жорсткістю по глибині з урахуванням напружень та деформацій, що досягається змінним вмістом в'язучого у шарах основи. Для визначення оптимального складу ґрунту закріпленого в'язучим, розроблена методика випробувань та обробки результатів, що передбачала планування експерименту, аналітичні розрахунки фундаментів на штучній основі, кореляційно-регресійний аналіз для побудови рівнянь.

Дослідження ґрунтів проведені в лабораторії кафедри автомобільних доріг, геодезії та землеустрою ПДАБА. Для виготовлення ґрунтоцементу використано лесовий супісок, характерний для геології м. Дніпро. В якості в'язучого матеріалу використано поргланццемент ПЦ П/Б-Ш-400 з різним його вмістом у суміші ґрунту. У ході експерименту визначали: у зрізному приладі кут внутрішнього тертя ґрунту φ та питоме зчеплення c , в компресійному приладі - модуль деформації E , зразки ґрунтоцементу випробувалися пресом на міцність R .

За результатами випробувань були встановлені достовірні ($r^2=0,98\dots0,99$) рівняння апроксимації залежності між механічними характеристиками ґрунтоцементу та вмістом в'язучого (рис. 1-4).

Для визначення оптимального вмісту в'язучого матеріалу при закріпленні ґрунту основи будівель та споруд, згідно розробленої методики, була розглянута практична задача проектування стовпчастих фундаментів на основі із ґрунтоцементу. Розрахунки граничного і розрахункового опорів основи та осідання різних за розмірами фундаментів ($b=1\dots3\text{м}$, $d=1\dots3\text{м}$), були проведені за методиками ДБН В.2.1-10:2018, у відповідності до запланованої матриці експерименту по встановленим рівням факторів в області пошуку оптимальних значень. Визначено залежності розрахункового опору R_0 та осідання фундаментів S від вмісту в'язучого n в ґрунтовій основі (рис. 4 – 5).

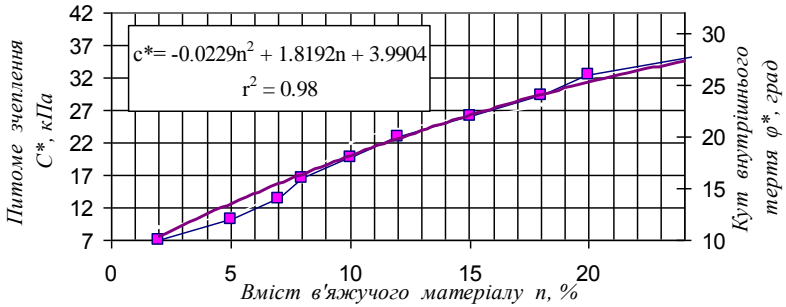


Рис. 1. Залежності питомого зчеплення та куту внутрішнього тертя від вмісту в'язучого матеріалу у ґрунті

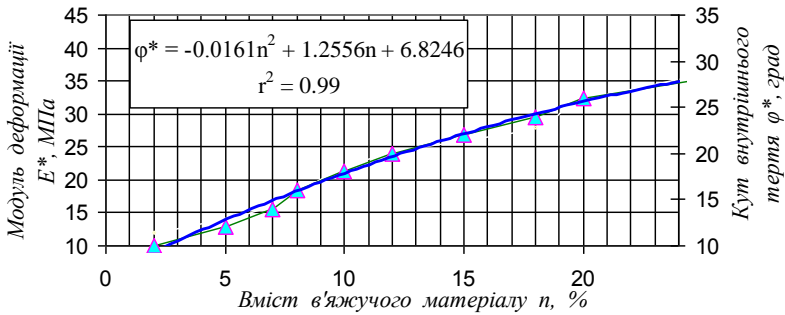


Рис. 2. Залежності модуля деформації та куту внутрішнього тертя від вмісту в'язучого матеріалу у ґрунті

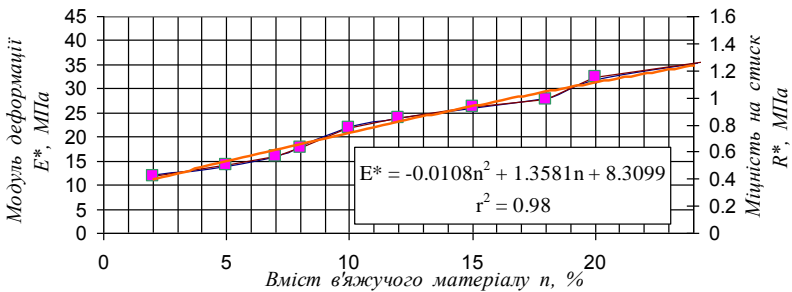


Рис. 3. Залежності модуля деформації та міцності на стиск від вмісту в'язучого матеріалу у ґрунті

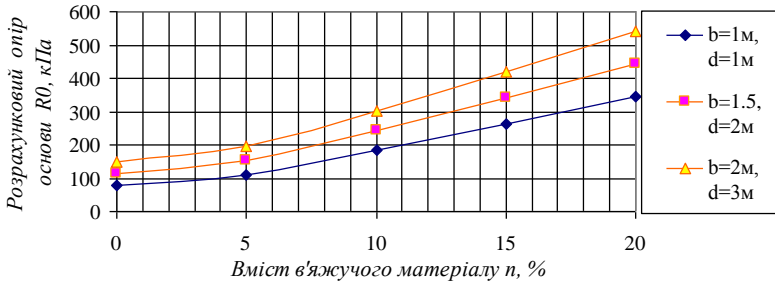


Рис. 4. Залежність розрахункового опору основи від вмісту в'язучого матеріалу в ґрунті

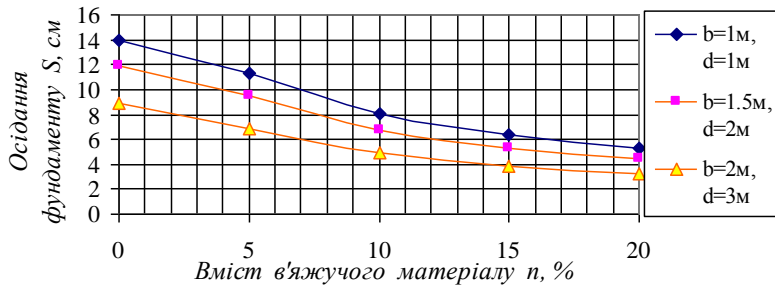


Рис. 5. Залежність осідань фундаменту від вмісту в'язучого матеріалу в ґрунті

Задачею кореляційного аналізу являлось встановлення тісноти зв'язків між факторами для вибору найбільш впливових на результативну ознаку. Необхідна величина вмісту в'язучого n у складі матеріалу ґрунтової основи залежить від наступних факторів: фізико-механічні характеристики ґрунту, геометричні параметри фундаменту (ширина підшови b , глибина закладання d), навантаження та розрахунковий R_0 опір основи, розрахункові осідання фундаменту S .

Результати кореляційного аналізу показали, що існує тісний зв'язок ($r=0,86\dots 0,9$) результативної ознаки n з факторними ознаками R_0 , S , а також тісний зв'язок ($r=0,78\dots 0,91$) між факторними ознаками – φ , c , E та R , S , що пояснюється їх функціональною залежністю. У математичну модель включалися найбільш впливові за тісністю зв'язку факторні ознаки.

Регресійний аналіз дозволяє на основі вибірових експериментальних даних побудувати математичну модель залежності

середнього значення результативної ознаки від факторних ознак [3]. На підставі отриманих даних побудовані рівняння регресії, що відображають залежності необхідного вмісту в'язучого матеріалу в ґрунті n від розрахункового опору основи R_0 та осідань фундаменту S .

Для розглянутих випадків стовпчастих фундаментів на штучній основі із ґрунтоцементу отримано рівняння для оптимізації вмісту в'язучого матеріалу:

$$n = -0,9392 + 0,1772\bar{R} - 8,0234\bar{S} - 0,0002\bar{R}^2 + 0,0072 \cdot \bar{R} \cdot \bar{S} + 0,5281 \cdot \bar{S}^2, \quad (1)$$

де $\bar{R} = R/1 \text{кПа}$, $\bar{S} = S/1 \text{см}$. Коефіцієнт детермінації отриманого рівняння становить 0,95, що свідчить про задовільну узгодженість прогнозних даних.

При проектуванні оптимальними будуть умови коли $P=R_0$, $S=S_u$, де P – середній тиск по підшві фундаменту, S_u – гранична величина осідання.

Для значень $R_0=200 \text{кПа}$ та осідання $S=8 \text{см}$ отримано $n=7,63\%$. За умовами оберненої задачі для розрахункового опору визначили розміри фундаменту $d=2 \text{м}$ $b=1,4 \text{м}$. Тиск по підшві фундаменту $P=N/b=250/1,4=179 \text{кПа}$. Після уточнення розрахунком: розрахунковий опір $R_0=199,6 \text{кПа}$; граничний опір $P_u=652 \text{кПа}$; осідання $S=7,9 \text{см}$, що задовольняють вимогам норм.

Використання обґрунтованої дослідями методики оптимізації вмісту в'язучих матеріалів при закріпленні ґрунтів дозволяє отримати раціональні проектні рішення фундаментів. За високої мінливості та неоднорідності характеристик ґрунтів, з метою забезпечення умовам за граничними станами та забезпечення необхідного рівня надійності фундаментів рекомендовано застосовувати у проектуванні імовірнісні методи з використанням нелінійних моделей розрахунку.

1. Киричек Ю.А. Анализ области применения ґрунтоцемента в геотехнике. / Ю.А. Киричек, Г.В. Комиссаров. – Будівельні конструкції: Міжвід. наук.-техн. збірник. – Київ: ДП НДІБК, 2016. Вип. 83. Кн. 1. – С. 529-538.

2. Киричек Ю. Лабораторные исследования физико-механических характеристик ґрунтоцемента / Ю. Киричек, Г. Комиссаров. – Proceedings of the second international conference Challenges in geotechnical engineering, Київ: КНУБА, 20017. - С. 150 - 151.

3. Ершова Н.М. Корреляционно-регрессионный анализ данных наблюдений: методические указания для студентов, магистров и аспирантов всех форм обучения / Н.М. Ершова, Л.В. Цыбрий. – Днепропетровск: ПГАСА, 2003. – 64 с.

**MODELS OF MORPHOGENESIS AND THEIR INFORMATIVITY
IN THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF DISPERSED SYSTEMS
UNDER THE CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Trofimova L.E.

(Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

***Abstract.** The paper considers models of morphogenesis and the possibility of their application in the search and generalization of patterns in the behavior of dispersed systems under the conditions of physicochemical processes of obtaining modern composites. It is shown that the comparison of Zeeman models with experimental data allows to give an informative interpretation of the observed phenomena from the standpoint of catastrophe theory.*

***Keywords:** models of morphogenesis, structure formation, disperse systems, topological approach, catastrophe theory.*

It is known that in understanding the course of many nonlinear processes inherent in the technology of various composite materials, much attention is paid to dissipative structures. The existence of nonequilibrium spatial structures was first predicted by the English scientist Turing in his seminal work «The Chemical Basis of Morphogenesis», which was published in 1952. He proposed to use mathematical methods to research one of the most complex and interesting biological processes – morphogenesis, ie. evolution and development of forms. The fundamental results he obtained in the mathematical modeling of morphogenesis were some of the first examples of dissipative structures ever researched. The solution proposed by Turing regarding this so-called problem of morphogenesis not only provided a tool for research in various fields of knowledge, but also determined the intensive development of a whole much needed scientific field.

Turing formulated the idea and on its bases developed a model which allows to explain the spontaneous emergence of morphological and physiological differentiation of cells during the development of an organism. He suggested that regular repetitive stationary structures in initially homogeneous biological systems are generated by the simplest

chemical reactions and diffusion. Apparently, due to the collective action of chemical and diffusion processes, a hypothetical chemical substance emerges – «morphogen», which gives to cells «instructions» being necessary for cell differentiation. The model of Turing morphogenesis is based on the assumption that in order to describe the observed phenomenon, it is necessary to consider at least two types of such chemical substances – morphogens (in further researches of the structure formation mechanism, which has been carried out by Gierer and Meinhardt, they were hypothetically specified as an «activator» and «inhibitor»). The distribution of these hypothetical chemical reagents in space determines the nature of the subsequent development of cells. This assumption about the leading role of namely the cell position in the cell tissue, rather than the presence in it of any information (for example, through DNA) about its evolution, was sufficiently convincingly proven by way of an experiment.

In accordance with the Turing approach, this process is described by the following model. It is assumed that the substance X («activator») stimulates the development of cells, while the substance Y («inhibitor») slows it down. Taking into account only the chemical reactions into which this pair of morphogens enters would narrow down the entire mathematical description to a system of ordinary differential equations. But since the main interest is the spatial concentration distributions of these reagents, which are significantly influenced by diffusion processes, Turing proposed the first model of the «reaction – diffusion» type. In this one of the main basic models of structure formation and morphogenesis, a system of two diffusion equations being supplemented by terms which represent the chemical mechanism of the phenomenon under consideration is used. The emergence of dissipative structures is caused by the difference in the diffusion coefficients of the reactants, namely, the diffusion coefficient of the «activator» is to be less than the diffusion coefficient of the «inhibitor».

The term «dissipative structure» was coined by Prigogine (Brussels school), who used a modification of the basic Turing model now known as the «brusselator» [1]. The theory of dissipative structures was introduced as an essential part of a new scientific field – synergetics, developed by the Stuttgart school Haken (the term was also proposed by him).

The mathematical articles of the founder of the catastrophe theory Thom are also devoted to modeling morphogenesis. This approach assumes that a number of qualitative leaps occur during the development of an organism. Topological modeling (unlike the Turing approach) does not allow obtaining information about the spatial structure of a developing system, but in some cases it makes it possible to find out how its qualitative features suddenly change with a smooth change in external conditions or internal properties.

The term «catastrophe theory» was proposed by Zeeman, who played an important role in its application to the problems of morphogenesis. The theory of gastrulation, put forward by topologist Zeeman and biologist Cooke, is based on the «cusp catastrophe» model of cell differentiation. When modeling, completely identical cells are considered, which in the process of embryo development are segregated into muscle and bone cells. It is assumed that cells form many identical systems, which are regulated by the local concentration of a number of chemicals. The concentration of chemicals x and the embryo development time τ are taken as control parameters. The internal state variable Q characterizes the degree of cell differentiation. Zeeman proposes to describe the process under study as a «ruffle» catastrophe, the slope of which is not strictly parallel to the time axis τ . In his opinion, such a spatial orientation ensures the structural stability of the «oblique line ruffle» model and, therefore, the repetition of the situation. Zeeman also considered the use of a «ruffle» model being parallel to the time axis. It should be noted that the simpler «ruffle» geometry in a number of cases provides a fairly clear interpretation of the phenomena under study.

The Zeeman model was used by Benjamin when describing the results of experimental studies of the structure of fluid flow in an annular space (length L) between two coaxial cylinders. The outer cylinder is fixed motionless along its entire length, while the inner cylinder rotates with an adjustable angular velocity w . In this case, the stable «oblique line ruffle» illustrates the morphogenesis of two- and four-cell forms of fluid flows and is completely analogous to the model proposed by Zeeman for modeling of morphogenesis in biology.

As you know, modeling is aimed at showing the possibility of implementing various phenomena within the framework of fairly general assumptions. In this regard, it seems informative to use the basic models proposed by Zeeman to study the formation of a hierarchy of structures in dispersed systems at all stages of technological processes for obtaining composites [2]. In particular, it is proposed to describe the mechanism of the appearance of discontinuities in the continuity with the formation of layers in dispersions when external force fields are applied and to explain the appearance of the manifestation of these structural differences as morphogenesis in composite technology. Interpretation of the Zeeman – Benjamin approach can be effectively used to establish the patterns of dispersed systems evolution in exploring their rheological behavior in the space between the coaxial cylinders of a rotary viscometer.

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.

2. Трофимова Л.Е., Урьев Н.Б. Моделирование процессов структурообразования дисперсных систем и материалов. Одесса: Астропринт, 2011. 36 с.

РАЗНООБРАЗИЕ СТРУКТУРЫ И ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ВО ВРЕМЕНИ

Уразманова Н.Ф., Коробко О.А., Закорчемный Ю.О.

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

***Abstract.** The design level of properties in time is supported by a certain material structure. For this, the structure should include elements, the interaction of which is capable of determining a permissible change in the quality indicators of the material of constructions and products.*

***Keywords:** cement, structure, diversity, damage, crack resistance, strength.*

Всегда актуальной проблемой остается сохранение заданных показателей качества цементной составляющей конструкций и изделий при их длительной эксплуатации. Это особенно важно при вероятных изменениях целевого назначения строительных объектов. Поддержка проектного уровня свойств обеспечивается той структурой, которая единственно может гарантировать стойкость композитов во времени. Для этого структура должна включать определенный набор элементов, взаимодействие которых способно обусловить допустимое изменение физико-технических характеристик материала конструкций и изделий. Определяющую роль в динамике развития всей структуры, а, значит, изменения свойств играют трещины, внутренние поверхности раздела и остаточные деформации как активные элементы структуры, которые мгновенно реагируют на любые внутрискруктурные изменения [1]. Это отражается на собственных параметрах активных элементов и, как следствие, на условиях их взаимодействия и взаимовлияния друг с другом и другими элементами структуры. Конкретное внутреннее оформление структуры, спонтанно организовавшееся к началу периода эксплуатации, обладает потенциальной возможностью производить те или иные действия, направленные на самосохранение конструкции (изделия) как единого целостного объекта без существенной потери функциональных признаков. Сохранение во времени заданного уровня свойств может обеспечиваться интенсивными изменениями структуры,

адекватность проявления которых зависит от возможности реализации взаимосвязей всех ее индивидуальных составных частей.

Ранее проведенные исследования показали, что регулирование многообразия наборов составляющих на разных масштабных уровнях организации структуры позволяет получать строительные композиты с повышенными показателями качества. Направленно создавать условия для образования определенного «спектра» структур в структуре одной конструкции можно путем увеличения разнообразия качественного и количественного составов вяжущих.

Полиминеральность и полидисперсность цементных композиций априори ведет к возникновению структур с неповторимым сочетанием в них частиц по минералогическому составу, размерам и количеству. Это предполагает потенциальное разнообразие параметров начальных трещин, поверхностей раздела, остаточных напряжений и деформаций, определяющих потенциал структуры к своевременной адаптации при внутренних и внешних воздействиях. Учитывая возможное изменение условий эксплуатации строительных объектов, следует предусмотреть ситуации, требующие соответствующей стойкости материала изделий и конструкций. Предпосылки для реализации адекватного поведения композитов в изменяющихся условиях задаются структурой, которая должна обеспечить сохранение значений трещиностойкости и уровня механических характеристик с течением времени. При этом исходили из предположения, что увеличение разнообразия параметров активных элементов структуры должно положительно сказаться на изменении свойств материалов во времени. Была поставлена задача исследований – определить показатели вязкости разрушения и прочности цементных композиций через 8 лет твердения в естественных условиях и оценить влияние разнообразия структур различного возраста на изменение свойств композитов во времени.

Объектами исследований были приняты цементные композиции, включающие кварцевые наполнители рациональных качественных и количественных составов.

Для изготовления образцов в качестве вяжущего был использован цемент, полученный путем совместного помола в лабораторной шаровой мельнице клинкера производства ЗАТ «Одессацемент» и двухводного гипсового камня в количестве 5% от массы цемента.

Для управления организацией структуры цементных композиций с целью повышения разнообразия ее характерных составляющих (кластеров, начальных трещин и внутренних поверхностей раздела, полей остаточных деформаций) изменяли количество наполнителей $N=20\pm 10\%$ от объема цемента и их удельную поверхность $S=300\pm 200 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Наполнители вводили в различных моно- и полидисперсных соотношениях.

Опыты проводили на стандартных образцах-балочках размерами 4×40×160 мм. Контролировали следующие свойства образцов: технологическую (начальную) поврежденность через коэффициент поврежденности ($K_{П}$, см/см) [2]; прочность при сжатии и на растяжение при изгибе (R_c , МПа, R_f , МПа) по стандартной методике; трещиностойкость при рекомендованных способах иницирования трещины посредством коэффициентов интенсивности напряжений (K_{IC}^3 , K_{IC}^P).

Оценку влияния разнообразия структуры различного возраста на изменение свойств композитов определяли как соотношение $\Delta F = Q^8 / Q^{0,5}$, где: $\Delta F(Q)$ – изменение показателя свойства цементного камня во времени; $Q^{8лет}$ – показатель свойства цементного камня в возрасте 8 лет; $Q^{28сут}$ – показатель свойства цементного камня в возрасте 05 лет (200 суток) с момента твердения.

Результаты исследований представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1 – Оценка изменения свойств цементных композиций с монодисперсными наполнителями во времени

Показатель $\Delta F = Q^{8лет} / Q^{28сут}$	Составы наполнителей								
	$S_1 = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$			$S_2 = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$			$S_3 = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
$\Delta F(\Pi)$	0,97	1,00	1,03	1,00	0,99	1,04	0,97	1,03	1,07
$\Delta F(R_c)$	1,36	1,06	1,41	2,57	1,43	1,35	1,98	1,83	1,40
$\Delta F(R_f)$	1,01	1,37	1,25	1,09	1,16	1,17	1,11	1,00	0,98
$\Delta F(K_{IC}^3)$	0,52	0,80	0,21	0,36	0,31	0,78	0,38	0,49	0,44
$\Delta F(K_{IC}^P)$	0,76	0,63	0,45	0,41	0,35	0,50	0,80	0,51	0,61

Таблица 2 – Оценка изменения свойств цементных композиций с полидисперсными наполнителями во времени

Показатель $\Delta F = Q^{8лет} / Q^{28сут}$	Составы наполнителей					
	10%		20%		30%	
	50% S_1 + 50% S_3	50% S_2 + 50% S_3	50% S_1 + 50% S_3	50% S_2 + 50% S_3	30% S_1 + 30% S_2 + 30% S_3	50% S_1 + 50% S_2
$\Delta F(\Pi)$	1,04	1,06	1,01	1,03	1,05	1,04
$\Delta F(R_c)$	2,20	1,81	1,76	1,59	2,04	1,86
$\Delta F(R_f)$	1,79	1,59	1,79	1,24	1,14	1,30
$\Delta F(K_{IC}^3)$	0,48	0,49	0,94	0,51	0,89	0,49
$\Delta F(K_{IC}^P)$	0,73	0,82	0,80	0,52	0,98	0,72

Трещины и внутренние поверхности раздела являются элементами структуры, которые возникают на начальных этапах ее организации и твердения. Это предполагает участие трещин и поверхностей раздела во всех дальнейших процессах структурного развития материала на протяжении многих лет. Наличие трещин и поверхностей раздела обуславливает неравномерное распределение различных деформаций и напряжений, непрерывно возникающих в цементном камне, в силу того, что в нем не прекращаются процессы гидратации и процессы внутреннего массопереноса. Обеспечивается постоянное увеличение флуктуаций плотности и непрерывное перераспределение локальных полей остаточных деформаций. Это поддерживает структуру материала в неравновесном состоянии. Перманентное изменение структуры цементного камня будет определять его поврежденность технологическими трещинами и внутренними поверхностями раздела, вязкость разрушения, прочность при сжатии и изгибе.

Объемные деформации, которые возникают в результате непрерывных процессов гидратации и перекристаллизации, взаимодействуя с полями остаточных деформаций, способны привести к подрастанию технологических трещин и обусловить их выход на берега других трещин и внутренних поверхностей раздела. Это проявляется как структурные изменения материала вследствие того, что все составляющие структуры взаимосвязаны между собой и взаимно влияют на состояние друг друга. Эти определяются переорганизация интегральной структуры цементного камня.

Использование полидисперсных наполнителей обуславливает потенциальное увеличение разнообразия структуры материала, независимо от принятых соотношений размеров и количества частиц. Это, как показали исследования по определению поврежденности цементных образцов, ведет к увеличению значений K_{II} при длительном твердении в нормальных условиях. Поврежденность образцов с монодисперсными наполнителями возрастала лишь при определенных составах либо практически не изменялась. Взаимодействие частиц наполнителя при многовариантности соотношений их геометрических параметров привела к организации первичных кластерных структур, которые обеспечили более разнообразные наборы начальных трещин и внутренних поверхностей раздела, что оказало влияние на изменения структуры цементного камня во времени.

Технологическая поврежденность определяет трещиностойкость материалов. Анализ полученных результатов по определению K_{1C}^3 и K_{1C}^P показал общую тенденцию к снижению вязкости разрушения цементного камня при длительном твердении: на 24-41% для образцов

с полидисперсными наполнителями и на 44-53% для образцов с монодисперсными наполнителями. Вместе с тем, при использовании составов наполнителей с удельной поверхностью S_1+S_2 или S_1+S_3 в соотношении 1:1, можно увеличить трещиностойкость цементного камня до 11% и 20%, соответственно. При введении наполнителей состава $33\%S_1+33\%S_2+33\%S_3$ вязкость разрушения во времени затвердевших цементных композиций практически не изменилась.

Прочностные показатели возрастают во времени при всех принятых составах полидисперсных наполнителей, до 31% (R_f) и 47% (R_c). Структуры, образовавшиеся при введении монодисперсных наполнителей, обеспечили повышение прочности образцов при изгибе и сжатии в среднем до 13% и 30%, соответственно. В системах с большим разнообразием структур влияние принятого возраста образцов на изменение прочности при сжатии до 2 раз превышал показатели систем, которые включали близкие по удельной поверхности частицы наполнителя. Таким образом, в зависимости от составов наполнителей задаются параметры подструктур на уровне взаимодействия частиц вяжущего. Тем самым определяются условия гидратации, что влияет на обеспечение наборов трещин и внутренних поверхностей раздела, от которых зависит потенциальная способность цементного камня к переорганизации структуры на протяжении длительных временных интервалов. Благоприятные структурные изменения ведут к приросту прочности цементных образцов.

Выводы. Можно заключить, что увеличение разнообразия набора характерных составляющих структуры путем введения рациональных соотношений моно- и полидисперсных наполнителей позволяет обеспечить сохранение во времени проектного уровня механических свойств и вязкости разрушения цементных композиций. Изменение поврежденности цементного камня в течение длительного твердения в благоприятных условиях свидетельствует о непрерывных структурных преобразованиях, основную роль в которых играют технологические трещины и внутренние поверхности раздела. Увеличение различных сочетаний параметров активных элементов структуры обуславливает своевременность их реакций на изменяющуюся динамику процессов гидратации реликтовых зерен вяжущего. Это способствует поддержке заданных показателей качества цементной составляющей при длительной эксплуатации строительных изделий и конструкций.

1. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Коробко О.А. Структура материала в структуре : монография. Одесса : Полиграф, 2016. 244 с. 2. Дорофеев В. С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций : монография. Одесса : Город мастеров, 1998. 168 с.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВОГНЕЗАХИСНОГО ЛАКУ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ

^{1,2}Цапко Ю.В., ¹Цапко О.Ю., ¹Бондаренко О.П., ²Ломага В.В.
(¹Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д.
Глуховського Київського національного університету будівництва і
архітектури, ²Національний університет біоресурсів і
природокористування України)

***Abstract.** The processes of creation of fire-retardant varnish for wood, which consists of a mixture of inorganic and polymeric substances, are investigated in the work. It is established that the optimization of the inorganic component leads to a directed ratio of mineral acids and urea capable of effective fire protection of the material. The coating under the action of high temperature promotes the formation of a heat-insulating layer of coke, which prevents burnout and the passage of high temperature to the material, which is confirmed by the absence of the process of ignition of fire-retardant wood.*

***Keywords:** fire protection of wood, adhered coatings, thermal conductivity, surface treatment, thermal properties.*

На сьогоднішній день в будівництві все більш інтенсивно ведеться пошук нових вискоєфективних будівельних матеріалів, зокрема, з деревини. Застосування у будівництві деревини має значну кількість переваг, але потребує захисту від вогню. На сьогодні існує два способи вогнезахисту деревини. Перший – це просочення антипіренами, частіше за все на основі неорганічних солей, коли засіб на основі кислот, проникаючи в глибину структури матеріалу і взаємодіючи з клітчаткою, утворює комплекси, які інгібують горіння [1, 2]. Другий – це нанесення на поверхню деревини покриття на органічному чи неорганічному в'язучому [3]. Більш ефективними вважаються вогнезахисні покриття на неорганічному в'язучому, властивості яких вже досліджені [4], але ці матеріали утворюють на поверхні жорстке покриття, яке змінює колір поверхні та під дією атмосфери втрачає адгезію та осипається.

Для встановлення горючості деревини використовували зразки

прямошарової деревини сосни розміром 310×140×6 мм, густиною 420..470 кг/м³. Зразки обробляли різними композиціями, зокрема, покриттям, яке утворює на поверхні безбарвну плівку та здатне під дією високої температури створити на поверхні пінококсовий захисний шар, а саме, покрівельним просочувальним розчином на основі суміші органічних і неорганічних речовин (суміш карбаміду і фосфорних кислот та природного полімеру у різних пропорціях).

Отриману масу перемішували, додавали воду 100 % і наносили на зразок деревини (рис. 1), а для дослідження впливу складу сумішей антипіренів знижували їх концентрацію до пропорції 1:1.



Рис. 1. Модельні зразки деревини для випробувань

Виробники вогнезахисних засобів під час розробки покриття керуються необхідністю одержання ряду властивостей, що визначають у цілому його здатність захищати від дії вогню. До числа таких властивостей відносяться: негорючість покриття, ізолюючі властивості покриття від дії тепла, ізолюючі властивості покриття від доступу повітря та полум'я від джерела запалювання. Для одержання вогнезахисного покриття, що задовольняє пред'явленим вимогам, необхідно, щоб компоненти, які входять до складу покриття, відносились безпосередньо до групи негорючих, важкогорючих матеріалів або утворювали такі з'єднання в умовах нагрівання, які здатні утримуватись на поверхні виробу.

Враховуючи вище наведений механізм дії, за допомогою трьохфакторного симплекс-центрального методу планування експерименту в математичному середовищі Statistica 12, проведено оптимізацію складових вогнезахисної композиції при витраті кислоти та карбаміду (табл. 1).

Таблиця 1

Фактори варіювання

Фактори	Код	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
		Нижній 0	Верхній 1	
Комплекс кислот, КК, %	X	21	27	6
Карбамід, К, %	Y	20	30	10

У якості вихідного параметру було обрано індекс горючості та втрата маси, значення яких фіксували на зразках, які піддавалися термічному впливу. Матриця планування експерименту та її математична реалізація наведена в табл. 2.

У результаті моделювання отримані рівняння регресії та побудовані тернарні поверхні змін вихідного параметру в залежності від змін факторів варіювання (рис. 1).

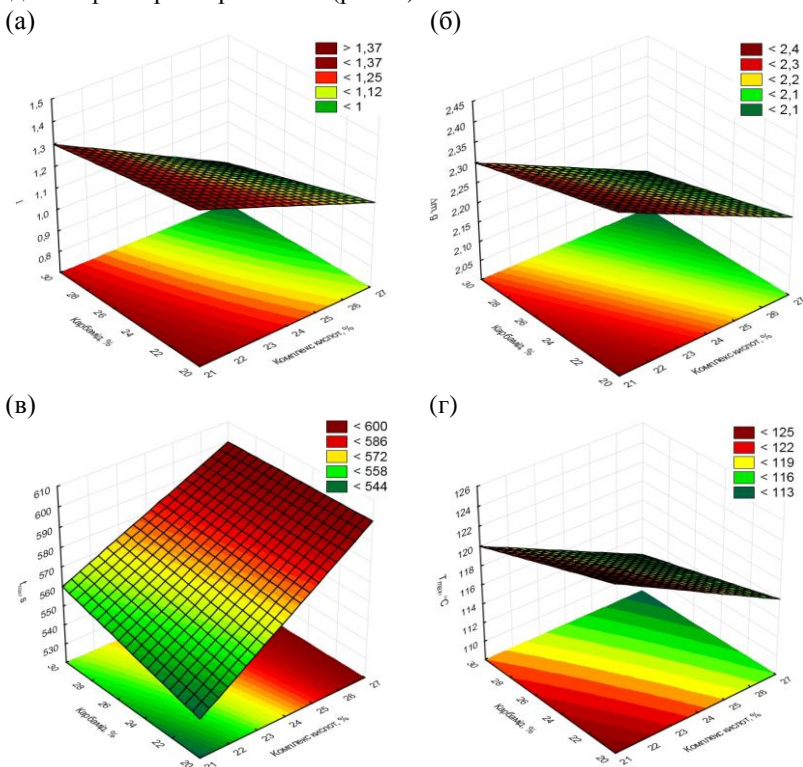


Рис. 1. Тернарні поверхні зміни складової вогнезахисної композиції після термічної дії при різних співвідношеннях кислот і карбаміду: індексу горючості (а); втрати маси (б); часу займання (в); максимальної температури (г)

Рівняння регресії:

$$I = 1,95 - 0,016x + 0,025y - 0,001xy;$$

$$\Delta m, g = 3,3 - 0,033x - 0,009y - 0,001xy;$$

$$t_{\max}, s = 150 + 16,67x + 9,0y - 0,33xy;$$

$$T_{\max}, ^\circ\text{C} = 173,5 - 1,83x - 0,85y + 0,0167xy,$$

де x – комплекс кислот, %; y – карбамід, %.

Таблиця 2

Матриця експерименту та її реалізація

№ п/п	Фактори, вигляд		Матриця планування	
	X	Y	КК, %	К, %
1	-1	-1	21	20
2	1	-1	27	20
3	-1	1	21	30
4	1	1	27	30

Аналізуючи вплив складу вогнезахисної речовини можна зробити висновок, що для забезпечення показників вогнезахисту оптимальним співвідношенням кислоти до карбаміду є 1:1 – ФК:ЕК, а саме введення їх у кількості: 26...27% комплексу кислот та 28...30% карбаміду.

Проведені дослідження з визначення індексу горючості та максимальної температури вихідних газів з установки при термічній дії на деревину. Дослідження показали, що при початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T=68$ °C при дії радіаційної панелі необроблений зразок загорівся після 146 с, полум'я поширилося по всій поверхні, натомість, зразок, вогнезахиснений лаком не загорівся, максимальна температура становила 105 °C.

Таким чином, встановлено особливості гальмування процесу займання та поширення полум'я деревини, що оброблена лаком, які полягають в утворенні теплоізолювального шару коксу, який запобігає вигоранню і проходженню високої температури до матеріалу. Це свідчить про можливість спрямованого регулювання процесами передавання високої температури до органічного матеріалу шляхом використання спеціальних покриттів для виробів з деревини.

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. Vol. 3. №10 (87). 2017. P. 50-55.

2. Tsapko Ju., Tsapko A. Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. Vol. 2. №11 (86). 2017. P. 50-55.

3. Бут В.П., Жартовский В.М. и др. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы. Пожаровзрывобезопасность. Вып. 5. М.: ВНИИПО, 2004. P. 31-32.

4. Krivenko P., Guzii S., Kravchenko A. Protection of Timber from Combustion and Burning Using Alkaline Aluminosilicate-Based Coatings. Advanced Materials Research. Vol. 688. 2013. P 3-9.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОФОБИЗАТОРОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭКОАРБОЛИТОБЕТОН

Шинкевич Е.С., Закаблук С.С., Линник Д.С., Плит А.Д.
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

***Abstract.** The article describes the advantages of wood concrete, its most important characteristics and key points in its application. The main characteristics of water repellents that can be used with wood concrete are presented.*

***Keywords:** surface tension, pH indicator, wood concrete, ecological material, low-rise construction.*

Современный уровень строительства предъявляет очень высокие требования в части повышения теплозащиты, энергосбережения и экологичности зданий. Разработка композиционных материалов с улучшенными теплоизоляционными свойствами и их широкое применение в строительстве в условиях экономии теплоэнергетических ресурсов имеют крайне важное значение. Этим требования в большой мере отвечают современные композиционные материалы на органических заполнителях. Производство таких композиционных материалов в полной мере отвечает требованиям современного малоэтажного строительства.

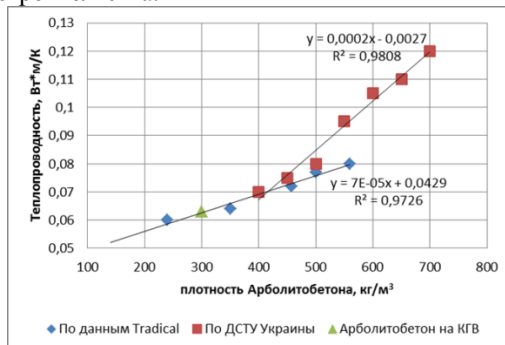


Рис. 1. Изменение теплопроводности арболитобетона в зависимости от плотности

Благодаря полученной структуре арболитобетона с низким коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 0,07$ Вт/м·°С (рис. 1) и с повышенной прочностью стало возможным изготовление изделий для теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных изделий для малоэтажного строительства [4].

По своим эксплуатационным и технико-экономическим показателям малоэтажное строительство из арболитовых блоков не имеет себе равных, при возведении зданий из такого материала воздух в помещении сохраняет экологичность, тепло- и звукоизоляцию, сухость и свежесть. Стены из такого материала легкие, малотеплопроводные, хорошо поддаются любой отделке, гвоздимы, прочны и экономичны. Полное отсутствие химикатов в составе такого материала делает его безопасным для человека и окружающей среды. По биостойкости арболитобетон принадлежит к V-группе в соответствии с классификацией НДБМВ, он не подвержен гниению воздействию грызунов и насекомых. Современный арболитобетон не горюч, он относится к категориям следующих групп: Г1-слабогорючий трудновоспламеняемый, РП-1-не распространяющий пламя. Арболитобетон не дает усадку, срок службы 75 и более лет, не требует периодической пропитки, микроклимат и комфорт в здании сравним только с домами из древесины.

К приоритетным направлениям относятся:

- новые экологически чистые теплоизоляционные материалы;
- постепенный переход на водородную энергетику;
- применение солнечных панелей, ветро-, волно-, и гидроэнергоустановок с системами аккумулирования;
- энергосберегающий архитектурно-дизайнерский подход в проектировании и реконструкции зданий;
- применение гидрофобизаторов для сохранения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций;
- уход от фенолформальдегидных клеев в производстве мин ваты;
- применение экологически чистых арболитобетонных утеплителей с натуральными возобновляемыми наполнителями.

Разработкой утеплителей, теплоизоляционных материалов и гидрофобизаторов, которые позволяют сохранить теплотехнические свойства изделий в условиях экологических воздействий, занимаются в ОДАБА аспирант С.С. Закаблук, соискатель Д.С. Линник и аспирант А.Д. Плит под руководством д.т.н. проф. Е.С. Шинкевич [1-3].

Для улучшения водостойкости арболитобетона и сопутствующих характеристик могут применяться гидрофобизаторы, поэтому было принято решение провести сравнительный анализ современных отечественных гидрофобизаторов с зарубежным аналогом известной фирмы Ceresit. Одной из важнейших характеристик для

гидрофобизаторов является поверхностное натяжение, с помощью которого косвенно можно судить об эффективности гидрофобных свойств (рис. 2).

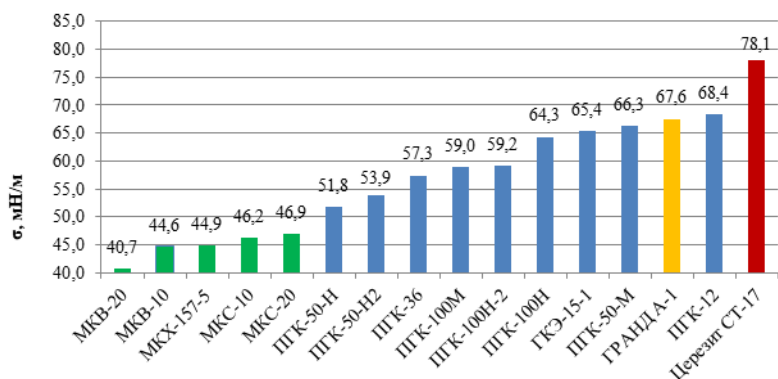


Рис. 2. Сравнение показателя поверхностного натяжения различных гидрофобизаторов

Также если рассматривать применение гидрофобизаторов в сочетании с экоматериалами, например арболитобетоном, то следует провести проверку на водородный показатель рН рис. 3.

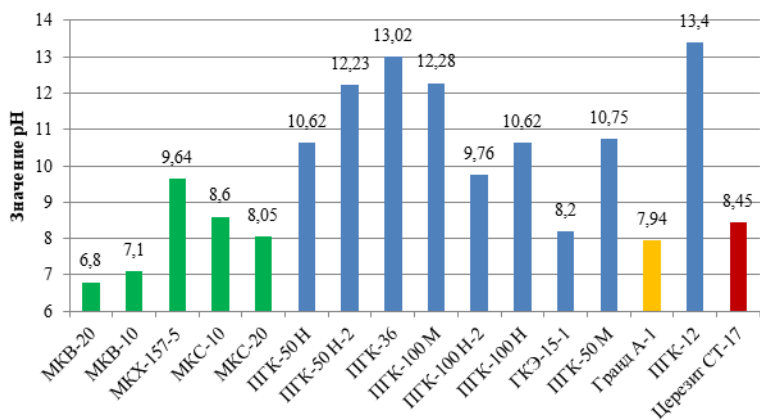


Рис. 3. Сравнение показателя рН различных гидрофобизаторов

В дальнейших исследованиях можно проанализировать влияние показателя рН на арболитобетон для анализа воздействия кислотности гидрофобизатора на органический наполнитель, изменение прочностных характеристик и биостойкости арболитобетона.

В'ЯЖУЧІ НА ОСНОВІ ДОЛОМІТУ

Шпирько М.В., Бондаренко С.В., Бондаренко А.С.

(Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури)

***Abstract.** Studies have shown that as a result of firing at temperatures of 850-970 °C from a mixture based on screenings of dolomite and waste coal beneficiation, it is possible to obtain dolomite romance and dolomite lime.*

***Keywords:** binder, coal waste, dolomite screening, dolomite roman cement, dolomite lime.*

Актуальність проблеми. Підвищення вартості енергоносіїв роблять актуальними проблеми розробки енерго- та ресурсозберігаючих технологій в'язучих матеріалів, та утилізацію промислових відходів. Розробка таких технологій дає змогу здешевити сировинну та енергетичну складову виробництва в'язучих матеріалів, знизити екологічне навантаження в регіонах де накопичено промислові відходи. Для зниження витрати палива у виробництві в'язучих речовин застосовують техногенну сировину, що містить паливні компоненти - відходи вуглезбагачення, золи ТЕС [1, 2].

В роботі наведені результати досліджень отримання в'язучого низького випалу автоклавного твердіння на основі відсівів доломіту та відходів вуглезбагачення.

Мінералогічний склад відходів збагачення вугілля шахт Павлограду містить глинисті мінерали 42-81%, пірит 1-13%, кварц 1-20,5%, карбонатні мінерали 1-12% і органічну речовину вугілля від 7-33,2%. З огляду на великий вміст глинистих мінералів, вони можуть використовуватися як сировинний компонент, а значна кількість вугілля як паливний компонент для отримання гідравлічного доломітового вапна [3, 4]. Значна кількість відходів доломіту знаходиться у відвалах і може використовуватись при виробництві в'язучих.

Процес отримання в'язучого з відсіву доломіту і відходів вуглезбагачення вклучас: помел сировинної суміші, формування

гранул, випал, охолодження і помел отриманих в'язучого.

Доломітовий відсів в основному складається з доломіту та домішок. Випал сировинної суміші з відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення супроводжується складними фізичними та фізико-хімічними перетвореннями і твердофазовою взаємодією між хімічними компонентами, в результаті яких формується мінералогічний склад доломітового романцементу, що забезпечує в'язучі властивості.

Метою роботи було отримання в'язучого з найбільшою кількістю β - C_2S , що забезпечує найбільшу міцність. Для досягнення цієї мети суміш піддавали механічній активації при випалу до $950^\circ C$.

Основний матеріал досліджень. Механічно-хімічна активація сировинної суміші з відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення підвищує її реакційну здатність; знижує температуру декарбонізації, утворення мінералів, енергію активації процесу формування в'язучого при знижених температурах випалу. Механічно-хімічна активація сировинних сумішей при виробництві випалювальних в'язучих матеріалів проводиться сухим помелом. Ступінь подрібнення сировинної суміші є однією з основних технологічних характеристик від якої залежить динаміка взаємодії CaO і MgO після декарбонізації доломіту з SiO_2 , Al_2O_3 і утворення нових сполук. Реакційна здатність суміші підвищується за рахунок збільшення поверхневої енергії суміші при розриві хімічних зв'язків і диспергації частинок в процесі розмелювання. В результаті збільшується кількість слабо пов'язаних іонів, дефектів і активних поверхневих центрів, загальна площа контактів між частинками, ступінь однорідності (гомогенності) складу сировинної суміші.

Під дією наведених факторів швидкості реакцій мінералоутворення змінюється зворотно пропорційно квадрату радіусу зерен.

У даній роботі помел сировинних сумішей проводився сухим способом в млині з тілами, що мелють у вигляді цільпесків. Реакційна активність суміші залежить від природи алюмосилкатної складової відходів вуглезабагачення. В інтервалі температур $600-1000^\circ C$ найменш активним є кварц, а найбільш активними гідроліти, каолініт.

Активність CaO , MgO і глинистих компонентів повинні бути взаємопов'язаними, тобто розпад глинистих компонентів повинен збігатися у часі з моментом, коли швидкість дисоціації $MgCO_3$ і $CaCO_3$ досить висока для проходження реакцій.

Сировинна суміш доломітового відсіву та відходів вуглезабагачення крім основних оксидів MgO , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 містить деяку кількість домішок: оксидів натрію, калію, сірки, які вносяться

відходами вуглезбагачення відсівами доломіту і підвищують реакційну здатність сировинної суміші.

Ці домішки надають багатосторонній вплив на процес зв'язування MgO , CaO , прискорюючи розпад компонентів сировини, змінюючи температуру утворення мінералів, модифікуючи їх, посилюють нерівновагу в системі.

Виходячи з витрат енергії на помел, економічних міркувань час помелу як відходів вуглезбагачення так і відсіву доломіту було прийнято 3 години. Відходи вуглезбагачення розмелюють до тонини, що відповідає залишку на ситі 008 не більше 15%.

На взаємодію компонентів і гідравлічну активність яка формується в процесі випалу в'язучого впливає термохімічна активація. Застосування активаторів-мінералізаторів дозволяє інтенсифікувати процес випалу в'язучого. Найбільше застосування отримали хлор і фтор, які містять мінералізатори. Сіль з аніоном, наприклад $NaCl$ знижує температуру ендоефекту декарбонізації $MgCO_3$ на 100-255 °С.

В ведення в карбонат магнію добавок хлориду натрію в кількості 1-2% знижує температуру його дисоціації до 540 °С, при тиску 760 мм.р.ст. При цьому дисоціація $MgCO_3$ починається при 340 °С і на кривій ДТА представлена дуже широким ендоефектом. Фторовмісні мінералізатори викликають руйнування решітки знижуючи температуру дисоціації $CaCO_3$ на 80-120 °С. Мінералізатори взаємодіють з $CaCO_3$, утворюючи подвійні солі, які розкладаються з виділенням CaO при температурах нижче температури його дисоціації (900 °С) без активаторів. Кремнезем присутній у відходах вуглезбагачення є найбільш термодинамічно стійким компонентом. Для термохімічної активації кремнезему в основному застосовуються фторовмісні мінералізатори. Механізм дії цих мінералізаторів, що підвищують реакційну здатність кварцу зводиться: збільшення рухливості атомів і іонів кристалічної решітки в момент поліморфних перетворень при знижених температурах; утворення твердих розчинів заміщенням частини іонів Si^{4+} в кристалічних решітках іонами мінералізаторів; руйнування кристалічної решітки кремнезему за рахунок хімічної взаємодії з кварцом з подальшим гідролізом утворенням SiF і виділенням активного SiO_2 .

Активація глинистих мінералів присутніх у відходах вуглезбагачення може здійснюватися лужними активаторами, наприклад, $NaOH$. При їх введенні в сировинну суміш в процесі помелу вони полегшують диспергацію і деламінацію зерен глинистих частинок кремнезему, прискорення і зниження температури реакцій в результаті яких формується фазовий склад в'язучих. Вони

послаблюють зв'язку в кристалічних решітках сировинних компонентів полегшуючи процес мінералоутворення. Так кремнефториди в інтервалі температур 300-1000 °С розкладаються на фторид металу і фтористий кремній, який є реагентом.

Для дослідження впливу термохімічної активації сумішей модифікованих домішками були використані методи ретгено-фазового (РФА), та диференційно-термічного (ДТА) аналізів, які дозволили простежити і оцінити енергетичні перетворення мінеральних речовин, які відбуваються при нагріванні. Нагрівання відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення викликає ряд фізичних і хімічних процесів, що супроводжуються виділенням або поглинанням тепла. Реакції дисоціації карбонатних з'єднань, розпад складних силікатних структур з виділенням CO₂ гідроксильної води глинистими мінералами, перехід аморфних речовин в кристалічний стан і навпаки. Реакції, що протікають в процесі нагрівання мінеральних речовин відходів вуглезабагачення, супроводжуються енергетичними перетвореннями ендо- екзотермічного характеру.

Дослідження процесів, що відбуваються при нагріванні суміші відсіву доломіту і відходу вуглезабагачення в порошкоподібному стані проводили в інтервалі температур 20-950 °С термографічним методом. Криві TG, DTG, ДТА характерні для декарбонізації відсіву доломіту.

Отримання в'язучих низького випалу проводили випалюванням сировинних сумішей з відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення при температурах 850-970 °С. Приготовлені для випалу склади сумішей включали відсівання доломіту і відходи вуглезабагачення в співвідношеннях 1:0,5 (склад № 1) та 1:0,75 (склад № 2). Випал проводили трьома способами.

За першим способом випалювали гранули сформовані з порошкоподібних відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення.

За другим способом суміш з порошоків відсіву доломіту і відходів вуглезабагачення. Третім способом суміш гранул з відсіву доломіту і гранул з відходів вуглезабагачення. При підготовці сировинних сумішей другого складу помел відходів вуглезабагачення проводили без активаторів, а також з активаторами. В якості активаторів застосовували їдкий натр (NaOH) який може активувати як диспергацію утримуючих кремнезем зерен, деламінацію глинистих мінералів, так і утворення нових сполук, а також кремені фтористий натрій (Na₂SiF₆). Їдкий натр вводили в кількості 3 і 8% від відходів вуглезабагачення, а кремені фтористий натрій у кількості 4%. Склад отриманих при випалюванні з'єднань визначався методом рентгенофазового аналізу.

В результаті випалу при температурах 850-970 °С за першим і другим способом сумішей відсіву доломіту і відходу вуглезабагачення в суміші формуються 2CaOSiO_2 (29,2-38,1%); $2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ (18,1-51,4%); $2(2\text{CaOSiO}_2)\text{CaCO}_3 + 3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (36,6-30,3%) від вмісту в суміші MgO. Перші величини вмісту сполук відносяться до температурі 850 °С, а останні до температури понад 910 °С. Геленіт ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$) і спуріт $2(2\text{CaOSiO}_2)\text{CaCO}_3$ при твердінні в'язучого у процесі теплової обробки при природному тиску і температурі 90 °С є інертними сполуками. При випалі за третім способом сировинної суміші у вигляді суміші гранул або зерен тільки з відсіву доломіту і тільки з відходів вуглезабагачення в інтервалі 910-970 °С в основному утворюються MgO (100%), CaO (більше 100%) CaSO_4 (8-9%).

Висновки. Дослідженнями встановлено, що доломітовий романцемент може бути отриманий окремих помелом доломіту до залишку на ситі 008 не більше 25 % і відходів вуглезабагачення до залишку на ситі 008 не більше 15 % з наступним дозуванням у співвідношенні 2:1 з наступним формуванням гранул і випалом при 850-900 °С.

Доломітове вапно може бути отримано окремих помелом доломіту до залишку на ситі 008 не більше 25 % і відходів вуглезабагачення до залишку на ситі 008 не більше 15 % з наступним окремих формуванням гранул і дозуванням у співвідношенні 1:1. Випал проводять при 980-1030 °С

1. Бабушкин В.И., Винниченко В.И., Шульга И.В. Повышение эффективности использования отходов углеобогащения при обжиге цементного клинкера // Уголь Украины-1998.-№4.-с.48-49

2. В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов, Е.И. Ходькин. Теоретическое обоснование и эффективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // Строительные материалы. – М.: 2007-№8-С. 20-21.

3. В.И. Винниченко, А.Н. Рязанов Получение цемента из отходов доломита // Экология и промышленность. – 2013. - №2. – С. 111-113.

4. Н.И. Дунаевская. К вопросу о комплексном использовании шламов сухих отходов углеобогащения, высокозольного и бурого угля в энергетике. // Институт угольных энерготехнологий НАН Украины. Электронный ресурс: <http://esko-ecosys.narod.ru/2012-5>.

ЗМІСТ

Афанасьев Б.А., Хлыщов Н.В. Использование теплоты катакомб для теплоснабжения в г. Одесса...	3
Барабаш О.С., Попов Ю.В., Данченко Ю.М., Бадай Л.Р. Прогнозування властивостей епоксидного зв'язуючого за допомогою комп'ютерного моделювання міжмолекулярних взаємодій.....	10
Бердник О.Ю., Бондаренко О.П., Апанасенко В.Ю. Застосування базальтових волокон в автомобільній промисловості	14
Волкова В.С., Мороз Л.В., Євтушенко П.Є, Кривошева Ю.М. Обстеження стану залізобетонних конструкцій магістрального каналу фрунзенської зрошувальної мережі.....	17
Выровой В.Н., Суханов В.Г., Елькин А.В., Казмирчук Н.В. Самоорганизация. Структура. Свойства.....	23
Гара Ан.А., Гара А.А. Влияние рецептурно-технологических параметров на прочность модифицированных эпоксидных композиций.....	27
Гоц В.И., Гелевера А.Г., Рогозина Н.В., Смешко В.В. Экологические, экономические и правовые аспекты использования щелочно-активированных цементов.....	31
Гузій С.Г., Романюк В.В., Лащівський В.В., Бажелко І.К. Визначення деформаційних властивостей адгезивів для деревини на ранніх етапах їх тверднення.....	36
Данченко Ю. М., Обіженко Т.М., Барабаш О.С., Скрипинець А.В. Роль кислотно-основних міжфазних взаємодій у моделюванні та оптимізації наповнених епоксидних композитів.....	42
Дворкін Л.Й., Бордюженко О.М., Скрипник М.М., Ковальчук Т.В. Дослідження властивостей самоущільнюваних бетонних сумішей з використанням математичного моделювання.....	48

Дворкін Л.Й., Марчук В.В., Безусяк О.В., Григорчук А.С. Гіпсоцементнозольні суміші придатні для 3-d бетонування.....	52
Дерев'яно В.М., Кондратьєва Н.В., Гришко Г.М., Євтушенко П.Є. Дослідження властивостей дисперсно-армованих розчинів.....	57
Довгань О.Д., Вировой В.М., Довгань П.М. Оптимізація складів декоративного бетону.....	62
Житковський В.В., Дворкін Л.Й. Оптимізація складу вібропресованого керамзитобетону на композиційному гіпсовому в'язучому з добавкою керамзитового пилу.....	67
Карєв А.І., Скрипинець А.В., Барабаш О.С. Модернізація технології отримання рослинно-полімерних композитів.....	72
Ковальов А.І. Максимова М.О., Малігонова Ю.М., Магдій С.М. Моделювання нестационарного прогріву вогнезахищених сталевих конструкцій в умовах пожежі.....	75
Колесников А.В., Керш В.Я., Ляшенко Т.В., Замула М.А. Моделирование эксплуатационных характеристик теплозвукоизолирующего композита.....	78
Колохов В.В., Сопільняк А.М., Тимошенко О.А., Колохов О.В. Стосовно вдосконалення методики вимірювання швидкості ультразвуку в бетоні.....	83
Кровяков С.О., Мішутін А.В., Кінтя Л. Врахування зміни Ц/В при оцінці впливу складу модифікованих бетонів жорстких дорожніх покриттів на їх міцність.....	86
Ляшенко Т.В. О компьютерном материаловедении 2020.....	91
Marchenko M.V., Mosicheva I.I., Baranik V.S., Gaiova M.I. Composite perspective of estimation of quantitative parameters of the process of deformation of a loaded soil base.....	96

Marchenko M.V., Mosicheva I.I., Potapov A.A., Chesnokova I.D., Senich O.I. Composite adaptation process of natural soil mass and its locally compacted volume during the operation of the system "basis – foundation".....	99
Москаленко О.А. Роль поверхнево-активних речовин в управлінні реологічними властивостями шлаковмісного портландцементу.....	102
Непомящий О.М. Моделювання морозостійкості будівельних композитів при односторонньому заморожуванні.....	106
Низина Т.А., Чернов А.Н., Низин Д.Р. Многокритериальная оптимизация составов эпоксидных композитов, наполненных микрокальцитом.....	111
Парута В.А., Гнып О.П., Лавренюк Л.И., Гринева И.И. Модель разрушения полимерцементного штукатурного покрытия...	116
Семенова С.В., Колесников А.В., Дуков И.М. Геометрические особенности как основа формирования прочностных характеристик композиционных материалов.....	121
Сердюк В.Р., Рудченко Д.Г. Полифункциональные минеральные добавки в составе автоклавного газобетона.....	125
Скрипинець А.В., Сасенко Н.В., Биков Р.О., Попов Ю.В., Коврига А.В. Спрямоване регулювання структурно-реологічних характеристик епоксидуретанових полімерних композицій.....	130
Tertychny A.A., Shynkevych E.S., Surkov A.I. Comparison of structural-rhological and physical-mechanical properties of solutions for special purposes on experimental and statistical models.....	134
Трегуб О.В., Кірічек Ю.О., Комісаров Г.В. Оптимізація складу ґрунтоцементу штучних основ.....	138

Трофимова Л.Е. Models of morphogenesis and their informativity in the study of the behavior of dispersed systems under the conditions of technological processes.....	143
Уразманова Н.Ф., Коробко О.А., Закорчемный Ю.О. Разнообразие структуры и изменение свойств цементных композиций во времени.....	146
Цапко Ю.В., Цапко О.Ю., Бондаренко О.П., Ломага В.В. Оптимізація складу вогнезахисного лаку для деревини.....	151
Шинкевич Е.С., Закаблук С.С., Линник Д.С., Плит А.Д. Влияние современных гидрофобизаторов на энергоэффективный экоарболитобетон.....	155
Шпирько М.В., Бондаренко С.В., Бондаренко А.С. В'язучі на основі доломіту.....	158

Наукове видання

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ
БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ**

Матеріали міжнародного семінару

Одеса, 3-4 грудня 2020 р.

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальна за випуск *Антонюк Н.Р.*

Підписано до друку 27.11.2020 р.
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 11,92.
Наклад 300 прим. Зам. №18-38Е

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел. (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА