

Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Технічний університет Молдови



Посвящается 90-летию

Одесской государственной академии строительства и архитектуры

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Материалы международного семинара

Одесса, 3-4 декабря 2020

## **MODELLING AND OPTIMIZATION OF BUILDING COMPOSITES**

Proceedings of International Seminar

Odessa, December 3-4, 2020

Commemorating the 90<sup>th</sup> anniversary of

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ**

Матеріали міжнародного семінару

Одеса, 3-4 грудня 2020

Присвячується 90-річчю

Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Моделювання та оптимізація будівельних композитів** : мат-ли міжнарод. сем. - Одеса: ОДАБА, 2020. - 167 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.; Ляшенко 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](mailto: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](mailto: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.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ РОЗЧИНІВ

<sup>1</sup>Дерев'янюк В.М., <sup>2</sup>Кондратьєва Н.В., <sup>3</sup>Гришко Г.М.,

<sup>3</sup>Євтушенко П.Є.

*(<sup>1</sup>Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;*

*<sup>2</sup>Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет»;*

*<sup>3</sup>Дніпровський 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].

**Мега 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  $\tau$ , 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. Ґрунтуючись 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 раза збільшити міцність при вигині, щонайбільше в 1,5 раза – 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 металеві 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].

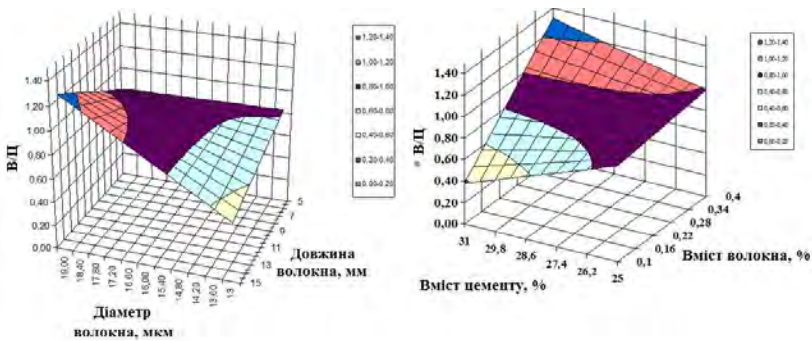


Рис. 1. Графіки залежності В/Ц розчину суміші від вмісту цементу і базальтового волокна (а), довжини і діаметру (б) базальтового волокна

На величину В/Ц впливає кількість введеного базальтового волокна, ймовірно це пов'язано з тим, що суміш насичується більш інтенсивно твердою фазою. У даних дослідженнях 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 дослідженнях 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 волокон-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 пресованных 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. *Materials 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.

## 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.Є., Мороз Л.В., Євтушенко П.Є, Кривошеєва 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., Лашівський 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



<b>Дворкін Л.Й., Марчук В.В., Безусяк О.В., Григорчук А.С.</b> Гіпсоцементнозольні суміші придатні для 3-d бетонування.....	52
<b>Дерев'яно В.М., Кондратьєва Н.В., Гришко Г.М., Євтушенко П.Є.</b> Дослідження властивостей дисперсно-армованих розчинів.....	57
<b>Довгань О.Д., Вировой В.М., Довгань П.М.</b> Оптимізація складів декоративного бетону.....	62
<b>Житковський В.В., Дворкін Л.Й.</b> Оптимізація складу вібропресованого керамзитобетону на композиційному гіпсовому в'язучому з добавкою керамзитового пілу.....	67
<b>Карєв А.І., Скрипинець А.В., Барабаш О.С.</b> Модернізація технології отримання рослинно-полімерних композитів.....	72
<b>Ковальов А.І. Максимова М.О., Малігонова Ю.М., Магдій С.М.</b> Моделювання нестационарного прогріву вогнезахищених сталевих конструкцій в умовах пожежі.....	75
<b>Колесников А.В., Керш В.Я., Ляшенко Т.В., Замула М.А.</b> Моделирование эксплуатационных характеристик теплозвукоизолирующего композита.....	78
<b>Колохов В.В., Сопільняк А.М., Тимошенко О.А., Колохов О.В.</b> Стосовно вдосконалення методики вимірювання швидкості ультразвуку в бетоні.....	83
<b>Кровяков С.О., Мішутін А.В., Кінтя Л.</b> Врахування зміни Ц/В при оцінці впливу складу модифікованих бетонів жорстких дорожніх покриттів на їх міцність.....	86
<b>Ляшенко Т.В.</b> О компьютерном материаловедении 2020.....	91
<b>Marchenko M.V., Mosicheva I.I., Baranik V.S., Gaiova M.I.</b> Composite perspective of estimation of quantitative parameters of the process of deformation of a loaded soil base.....	96

<b>Marchenko M.V., Mosicheva I.I., Potapov A.A., Chesnokova I.D., Senich O.I.</b>	
Composite adaptation process of natural soil mass and its locally compacted volume during the operation of the system "basis – foundation" .....	99
<b>Москаленко О.А.</b>	
Роль поверхнево-активних речовин в управлінні реологічними властивостями шлаковмісного портландцементу.....	102
<b>Непомящий О.М.</b>	
Модельовання морозостійкості будівельних композитів при односторонньому заморожуванні.....	106
<b>Низина Т.А., Чернов А.Н., Низин Д.Р.</b>	
Многокритеріальна оптимізація составов епоксидних композитов, наповнених мікрокальцитом.....	111
<b>Парута В.А., Гнып О.П., Лавренюк Л.И., Гринева И.И.</b>	
Модель разрушения полимерцементного штукатурного покрытия...	116
<b>Семенова С.В., Колесников А.В., Дуков И.М.</b>	
Геометрические особенности как основа формирования прочностных характеристик композиционных материалов.....	121
<b>Сердюк В.Р., Рудченко Д.Г.</b>	
Полифункциональные минеральные добавки в составе автоклавного газобетона.....	125
<b>Скрипинець А.В., Саснко Н.В., Биков Р.О., Попов Ю.В., Коврига А.В.</b>	
Спрямоване регулювання структурно-реологічних характеристик епоксиретанових полімерних композицій.....	130
<b>Tertychny A.A., Shynkevych E.S., Surkov A.I.</b>	
Comparison of structural-rhological and physical-mechanical properties of solutions for special purposes on experimental and statistical models.....	134
<b>Трегуб О.В., Кірічек Ю.О., Комісаров Г.В.</b>	
Оптимізація складу ґрунтоцементу штучних основ.....	138

<b>Trofimova L.E.</b> Models of morphogenesis and their informativity in the study of the behavior of dispersed systems under the conditions of technological processes.....	143
<b>Уразманова Н.Ф., Коробко О.А., Загорчешный Ю.О.</b> Разнообразие структуры и изменение свойств цементных композиций во времени.....	146
<b>Цапко Ю.В., Цапко О.Ю., Бондаренко О.П., Ломага В.В.</b> Оптимізація складу вогнезахисного лаку для деревини.....	151
<b>Шинкевич Е.С., Закаблук С.С., Линник Д.С., Плит А.Д.</b> Влияние современных гидрофобизаторов на энергоэффективный эокарболитобетон.....	155
<b>Шпирько М.В., Бондаренко С.В., Бондаренко А.С.</b> В'язучі на основі доломіту.....	158

*Наукове видання*

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ**

**Матеріали міжнародного семінару**

**Одеса, 3-4 грудня 2020 р.**

*(українською, російською та англійською мовами)*

Відповідальна за випуск *Антонюк Н.Р.*

Підписано до друку 14.12.2020 р.  
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 9,7.  
Наклад 60 прим. Зам. №20-334К

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](mailto:rio@ogasa.org.ua)

---

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету  
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА