

Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Технічний університет Молдови



# Моделювання та оптимізація будівельних композитів

Матеріали міжнародного  
науково-технічного семінару,  
присвяченого 50-ти річчю  
Будівельно-технологічного інституту  
Одеської державної академії будівництва та архітектури

Одеса, 27-28 жовтня 2016

# Modelling and optimization of building composites

Proceedings of International  
Scientific and Technical Seminar,  
devoted to the 50th anniversary  
of Building-Technological Institute  
of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Odessa, October 27-28, 2016



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



# **Моделювання та оптимізація будівельних КОМПОЗИТІВ**

**Матеріали міжнародного  
науково-технічного семінару,  
присвяченого 50-ти річчю  
Будівельно-технологічного інституту  
Одеської державної академії будівництва та архітектури**

**Одеса, 27-28 жовтня 2016**

## **Modelling and optimization of building composites**

**Proceedings of International  
Scientific and Technical Seminar,  
devoted to the 50<sup>th</sup> anniversary  
of Building-Technological Institute  
of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture**

**Odessa, October 27-28, 2016**

Міжнародний семінар "Моделювання та оптимізація будівельних композитів" є продовженням традиції кафедри процесів і апаратів в технології будівельних матеріалів, заснованої заслуженим діячем науки і техніки, членом Міжнародної інженерної академії, д.т.н., професором В.А. Вознесенським. Під його керівництвом проведені міжнародні семінари з моделювання та оптимізації композитів (МОК'35-47) з 1996 по 2008 роки. У 2014 році пройшов семінар, присвячений 80-річчю В.А. Вознесенського, в 2015 році – міжнародна конференція "Моделювання та оптимізація будівельних композитів", присвячена 40-річчю кафедри процесів і апаратів в технології будівельних матеріалів і 85-річчю Одеської державної академії будівництва та архітектури. У матеріалах цього семінару розглянуті питання експериментально-статистичного моделювання в будівельному матеріалознавстві, будівельних виробів і конструкцій. Оргкомітет (orgkom.ogasa@mail.ru) не завжди поділяє думку авторів.

The International Seminar "Modelling and Optimization of Building Composites" is the continuation of the tradition of the Department "Processes and Apparatus of Technology of Building Materials", which was based by Honored worker of science and technology, Member of the International Engineering Academy, Doctor of Technical Science, Professor Vitaly Voznesensky. Under his leadership, the International Seminars on Modelling and Optimization of Composites (MOC'35-47) 1996-2008 were held. In 2014 there was the seminar dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of Vitaly Voznesensky, in 2015 – International Conference "Modelling and Optimization of Building Composites", devoted to the 40<sup>th</sup> anniversary of the Department "Processes and Apparatus of Technology of Building Materials" and the 85<sup>th</sup> anniversary of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. The issues of experimental-statistical modeling in Materials and Components Science, building units and constrictions are investigated in the materials of this seminar. Organizing Committee (orgkom.ogasa@mail.ru) don't always share the opinion of the authors.

Редакційна колегія: **Шинкевич О.С.**, д.т.н., проф. (головний редактор); **Ляшенко Т.В.**, д.т.н., проф.; **Мішутін А.В.**, д.т.н., проф.; **Дерев'янку В.М.**, д.т.н., проф.; **Дворкін Л.Й.**, д.т.н., проф.; **Вировой В.М.**, д.т.н., проф.; **Лаповська С.Д.**, д.т.н.; **Пушкарьова К.К.**, д.т.н., проф.; **Плугін А.А.**, д.т.н., проф.; **Пічугін А.П.**, д.т.н., проф.; **Русу І.В.**, д.т.н., проф.; **Рахімов Р.З.**, д.т.н., проф.; **Рахімова Н.Р.**, д.т.н., проф.; **Сопов В.П.**, д.т.н., проф.; **Шишкін О.О.**, д.т.н., проф.; **Керш В.Я.**, к.т.н., проф.; **Попов О.А.**, к.т.н., доцент; **Луцкін Є.С.**, к.т.н., доцент; **Кровяков С.О.**, к.т.н., доцент.

Відповідальні за випуск: **Антонюк Н.Р.**, к.т.н., доцент; **Довгань О.Д.**, к.т.н., доцент.

*Схвалено до друку Вченою радою Одеської державної академії будівництва та архітектури. Протокол №2 від 29 вересня 2016 року.*

© Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2016

ISBN 978-617-7195-29-9

## ОПТИМИЗАЦИЯ УТЕПЛЯЮЩЕЙ ШТУКАТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ МЕТОДАМИ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

Керш В.Я., Колесников А.В., Хлыцов Н.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

**АННОТАЦИЯ.** Рассматривается методика оптимизации штукатурного состава методом функции желательности. Применение этого метода с заданием параметров поиска и требований к материалу позволило найти составы с оптимальными свойствами.

**Ключевые слова:** оптимизация, композиты, функция желательности.

**АНОТАЦІЯ.** Розглядається методика оптимізації штукатурного складу методом функції бажаності. Застосування цього методу із завданням параметрів пошуку і вимог до матеріалу дозволило знайти склади з оптимальними властивостями.

**Ключові слова:** оптимізація, композити, функція бажаності.

**ABSTRACT.** A technique of optimizing of the plaster composition by desirability function method is considered. Application of this method with the setting of the search parameters and material requirements allows to find compounds with optimal properties.

**Keywords:** optimization, composites, desirability function.

Важнейшим этапом синтеза композитных материалов является их оптимизация по многим критериям (многокритериальная или векторная оптимизация). В условия этой задачи входит совокупность монотонных и независимых по предпочтению частных критериев  $(\varphi_1(x_1, \dots, x_m), \varphi_2(x_1, \dots, x_m), \dots, \varphi_n(x_1, \dots, x_m))$ . Необходимо принять решение о значениях факторов  $x_1, \dots, x_m$ , при которых выполняется (1)

$$(\varphi_1(x_1, \dots, x_m), \varphi_2(x_1, \dots, x_m), \dots, \varphi_n(x_1, \dots, x_m)) \rightarrow \max \quad (1)$$

Поскольку приближение к максимуму по разным критериям в общем случае выдвигает противоречивые требования к значениям факторов, многокритериальная оптимизация имеет ряд особенностей и результатом ее будет множество решений, обладающих компромиссным характером [1].

Одним из методов многокритериальной оптимизации является скаляризация – свертка многих частных критериев в один скалярный (2), подвергаемый, в свою очередь, обычной скалярной оптимизации.

$$\Psi(\varphi_1(x_1, \dots, x_m), \varphi_2(x_1, \dots, x_m), \dots, \varphi_n(x_1, \dots, x_m)) \rightarrow \max \quad (2)$$

Дальнейшее развитие метод свертки нашел в форме функций желательности. Ее можно рассматривать как аппарат итеративного взаимодействия с лицом, принимающим решение, в задачу которого входит качественное определение степени важности частных критериев и вида самой функции посредством показателей веса для каждого критерия.

Для оптимизации композитного материала использовался пакет Design Expert [2], позволяющий проводить полный цикл планированного эксперимента, многокритериальной оптимизации результата исследования и выбора оптимальных решений. Исходные факторы  $x_1, \dots, x_m$  соответствовали составу композитного материала.

Рассматриваемый метод опирается на мультипликативный характер функции желательности D (3):

$$D = \left( d_1^{r_1}, d_2^{r_2}, \dots, d_n^{r_n} \right) \frac{1}{\sum_i r_i} \quad (3)$$

Здесь  $d_i$  отражают степени желательности каждого из частных критериев,  $0 \leq d_i \leq 1$ . При максимизации целевого уровня  $X_i$  и выбранных верхних и нижних границах интервала изменения этого фактора  $High_i$  и  $Low_i$  соответственно выражается как (4):

$$d_i = \left[ \frac{X_i - Low_i}{High_i - Low_i} \right]^{wt_i} \quad Low_i < X_i < High_i \quad (4)$$

В случае минимизации целевого уровня  $X_i$  соответствующая величина желательности составляет (5):

$$d_i = \left[ \frac{High_i - X_i}{High_i - Low_i} \right]^{wt_i} \quad Low_i < X_i < High_i \quad (5)$$

$wt_i$  – показатель «влияния» функции желательности (весовой коэффициент), при  $wt_i = 1$   $d_i$  – линейная функция;  $wt_i > 1$  оказывает большее влияние на смещение  $d_i$  в сторону целевого значения;  $wt_i < 1$  – менее важная степень влияния.

Значение функции желательности при разных значениях веса для максимизации целевого уровня (4) показано на рис.2. При малых значениях веса достаточно небольшое превышение нижнего предела приводит к резкому возрастанию желательности.

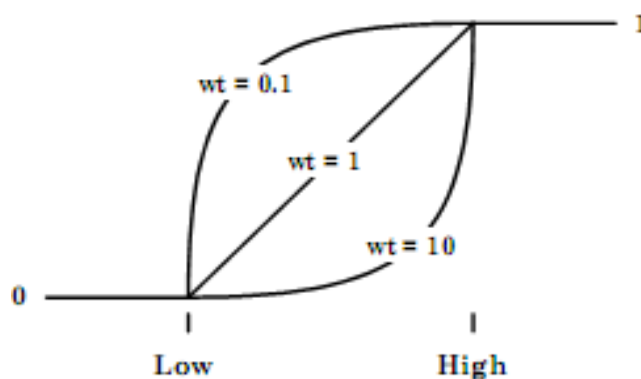


Рис. 2. Значение функции желательности при разных значениях веса

В исходной задаче не все критерии одинаково важны. Степень важности  $r_i$  в (3) выражается в форме целых чисел от 1 («несущественный критерий») до 5 («чрезвычайно важный критерий»).

Рассмотренный выше аппарат, воплощенный в форме программы, представляет удобный гибкий инженерный инструмент для задач оптимизации композитов и, в частности, утепляющего штукатурного материала.

Представляет интерес задача многокритериального оптимального проектирования штукатурного состава, при котором, наряду со стандартными требованиями к штукатурке, особенно важными являются уменьшение теплопроводности и звукопроницаемости. Для этих эксплуатационных характеристик степень важности (приоритета) при оптимизации с помощью метода функции желательности выбиралась максимальной.

При проведении численной многокритериальной оптимизации основой служили следующие ограничения (Таблица 1).

Здесь существенные ограничения выделены жирным шрифтом, остальные определялись, исходя из выборки соответствующих свойств образцов.

Таблица 1

### Основные критерии и цели оптимизации

Название критерия	Цель	Нижний предел	Верхний предел	Степень важности
Концентрация латекса	minimize	<b>-1</b>	1	2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	minimize	450	<b>600</b>	3
Прочность при изгибе, МПа	maximize	<b>0,5</b>	1,04	3
Прочность при сжатии, МПа	maximize	<b>1</b>	2,53	5
Теплопроводность, Вт/(м·К)	minimize	0,093	<b>0,2</b>	5
Адгезия, МПа	maximize	<b>0,2</b>	0,85	5
Звукопроницаемость	minimize	0,3	<b>0,5</b>	4

На основании определенных на основе Таблицы 1 ограничений и приоритетов построена функция желательности (3) и проведена ее оптимизация. Наиболее удачные решения отражены в Таблице 2.

Таблица 2

### Оптимальная рецептура штукатурных составов

№	PtoG	Mk Mks	Plast	Lat	$\rho$	$R_b$	$R_c$	$\lambda$	$R_{adh}$	$\tau$	D
	Перлито-гипсовое отношение	Соотношение микросфер и метакаолина	Дозировка пластификатора	Дозировка латекса	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Адгезионная прочность, МПа	Звукопроницаемость	Функция желательности
1	-1	-1	-1	-0,96	574	0,91	1,98	0,12	0,62	0,33	0,63
2	-1	-1	-1	-1	574	0,91	1,97	0,12	0,62	0,32	0,63
3	-0,98	-1	-1	-1	573	0,90	1,94	0,12	0,62	0,33	0,63
4	-1	-1	-1	-0,71	572	0,92	2,03	0,12	0,64	0,35	0,63
5	-0,94	-1	-1	-0,99	568	0,89	1,89	0,11	0,61	0,33	0,63
6	-0,91	-0,99	-1	-1	565	0,87	1,84	0,11	0,60	0,33	0,63
7	-1	-0,96	-1	-1	575	0,91	1,95	0,12	0,60	0,32	0,62
8	-0,92	-1	-1	-0,53	562	0,90	1,95	0,12	0,64	0,37	0,62
9	-0,82	-1	-1	-0,69	555	0,86	1,80	0,11	0,61	0,37	0,61
10	-0,97	-1	-1	-0,16	565	0,94	2,11	0,12	0,68	0,40	0,61

На рис. 3 показана функция желательности решаемой задачи при минимальных значениях факторов  $Plast = -1$ ,  $Lat = -1$ .

Особенностью определенных таким образом функций желательности является их чувствительность к требованиям, задаваемым с помощью набора весовых коэффициентов и степеней

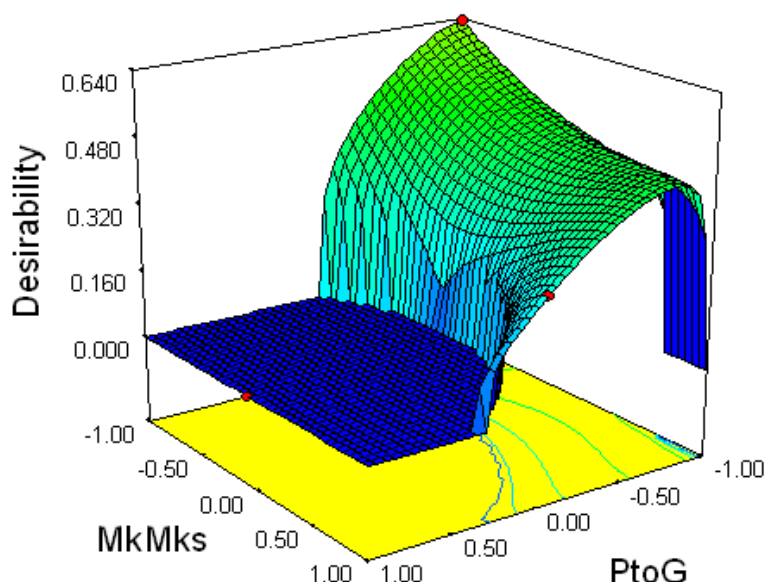


Рис. 3. Зависимость функции желательности от значений факторов PtoG и МК\_МКС при Plast = -1, Lat = -1

важности. Так, из рис. 3 видно, что незначительная деформация за счет вариации указанных параметров может привести к существованию второго, конкурирующего максимума (МК\_МКС = 1) в рассматриваемых диапазонах.

Таким образом, метод функции желательности позволил получить оптимальные составы с заданными эксплуатационными характеристиками. Для устранения недостатков рассматриваемого подхода представляется целесообразным:

1. Рассмотрение разных вариаций наборов требований к материалу по степеням важности и весам – параметрам функции желательности.
2. Применение других методов, позволяющих верифицировать полученные выводы и указать новые решения. В качестве такого метода применялось, в частности, итерационное случайное сканирование полей свойств материала [4].

1. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. М.: Макс Пресс, 2008. – 197 с.

2. Mark J. Anderson, Patrick J. Whitcomb, “DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation, 2nd Edition,” Productivity Press (July 30, 2007).

3. Керш В.Я., Колесников А.В., Керш Д.В. Разработка рациональных утепляющих гипсоперлитовых составов / Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. - Випуск. № 52.- тов. «Знання» України, Київ, 2014.- С.86-92

4. Ляшенко Т.В., Керш В.Я., Колесников А.В. ЭС-модели и многокритериальная оптимизация при разработке теплоизоляционных гипсовых штукатурных композиций / Вісник ОДАБА. – Одеса: «Зовнішрекламсервіс», 2015, вип.№ 57. – С. 279-282.



## ЗМІСТ

Роль арматуры в регулировании температурных напряжений при изготовлении шлаколитых фундаментных блоков <i>Большаков В.И., Щербак С.А., Елисеева М.А., Щербак О.С.</i>	3
Підвищення міцності сталевібробетонних матеріалів шляхом підвищення площі взаємодії цементного каменю зі сталевими компонентами <i>Вандоловський С.С., Юніс Башир., Костюк Т.О.</i>	7
Моделирование процессов морозного разрушения строительных материалов <i>Выровой В.Н., Загорчменная Н.О., Непомнящий А.Н.</i>	11
Бетоны с применением местных материалов для монолитного строительства <i>Гара А.А., Огарков Б.Л.</i>	14
Оценка деформационной совместимости полимерцементных ремонтных материалов и железобетонных конструкций <i>Гедулян С.И., Савченко С.В., Твердохлеб С.А.</i>	18
Сравнение результатов расчета модели подпорного сооружения с экспериментальными данными <i>Гришин А.В., Сипливец А.А.</i>	22
Системний підхід і умови оптимізації при розв'язанні задач проектування складів бетону <i>Дворкін Л.Й., Житковський В.В.</i>	25
Керамический кирпич, модифицированный террикониками и красным шламом Николаевского глиноземного завода <i>Деревянко В.Н., Гришко А.Н.</i>	32
Топологический принцип классификации полей свойств материалов <i>Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова С.В., Шарыгин В.Н.</i>	37
Обґрунтування показників якості для комплексно-активованої силікатної суміші <i>Доценко Ю.В., Шинкевич О.С., Сидорова Н.В.</i>	43

Совершенствование конструктивно-технологических решений покрытий из ФЭМ <i>Думанская В.В., Марченко В.С.</i>	46
Расчет локальных тепловых потоков в двухкомпонентных композитных материалах <i>Загинайло И.В., Максименюк Я.А., Писаренко А.Н.</i>	49
Оптимизация утепляющей штукатурной композиции методами функции желательности <i>Керш В.Я., Колесников А.В., Хлыцов Н.В.</i>	52
Сравнительный анализ свойств комплексно-активированной силикатной матрицы и поризованных композитов на ее основе <i>Койчев А.А., Доценко Ю.В., Шинкевич Е.С., Сидорова Н.В.</i>	57
Влияние макроструктурных параметров на формирование свойств бетона в изделиях <i>Коробко О.А., Уразманова Н.Ф., Тофанило В.Ю.</i>	60
Застосування методів планування експерименту при дослідженні властивостей керамзитобетону <i>Кривяков С.О., Мішутін А.В., Піщев О.В., Заволока М.В.</i>	65
Використання нагрітого повітря для теплової обробки бетонних виробів <i>Кугасєвська Т.С., Шульгін В.В., Сопов В.П.</i>	68
Моделювання складу автоклавного газобетону з покращеними характеристиками на згин <i>Лаповська С.Д., Волошина Т.М.</i>	72
Подбор гранулометрического состава органического заполнителя для арболитобетона <i>Линник Д.С., Шинкевич Е.С., Петренко А.Л., Нововсельский Д.В.</i>	79
Многофункциональность влияния кремнеземсодержащего компонента хемо-биогенного происхождения на структуру и свойства композитов на силикатной матрице <i>Луцкий Е.С., Тертычный А.А., Шинкевич Е.С.</i>	82

О нейронных сетях и экспериментально-статистическом моделировании <i>Ляшенко Т.В.</i>	86
Исследование процесса структурообразования и прогнозирование эксплуатационных свойств защитных полимерных покрытий <i>Пичугин А.П., Банул В.В., Батин М.О., Никитенко К.А., Пермина А.В.</i>	91
Моделирование работы цементного раствора в строительных смесях <i>Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Белан И.В., Пименов Е.Г.</i>	96
Оптимизация параметров козловых самораскрывающихся свай <i>Плахотный Г.Н., Варич А.С.</i>	101
Рентгеновские методы исследования строительных материалов: особенности взаимодействия рентгеновского излучения с кристаллами <i>Плугин А.Н., Борзяк О.С., Плугин А.А.</i>	105
Статистичні характеристики міцності бетону <i>Присяжнюк М.І., Шаміс Е.Е., Ізбинда А.А.</i>	112
Високоміцні керамзитобетони, отримані з використанням полікарбонатних суперпластифікаторів <i>Пушкарьова К.К., Каверин К.О.</i>	118
Композиционные шлакощелочные вяжущие с добавками известняка различного состава <i>Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З.</i>	121
Повышение трещиностойкости лакокрасочных покрытий для защиты железобетонных конструкций <i>Руссу И.В., Елецких А.А.</i>	125
Стінова кераміка низькотемпературного випалу <i>Сторчай Н.С., Дзюбан О.В., Папірник Р.Б.</i>	131

Моделювання параметрів процесу встановлення хімічних анкерів з урахуванням впливу організаційно-технологічних факторів <i>Супрун О.Ю.</i>	135
Применение радиоизотопного метода для оценки качества смешивания компонентов полимерных композитных материалов <i>Тигарев А.М., Тигарева Т.Г.</i>	139
Описание процесса щелоче-кремнеземистой реакции в бетоне <i>Файвусович А.С.</i>	143
Влияние вида заполнителя на прочность мелкозернистого бетона <i>Шишкин А.А.</i>	146
Влияние коллоидных поверхностно-активных веществ на прочность мелкозернистых бетонов <i>Шишкина А.А.</i>	151



Наукове видання

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ**

**Матеріали міжнародного науково-технічного семінару,  
присвяченого 50-ти річчю  
Будівельно-технологічного інституту  
Одеської державної академії будівництва та архітектури**

**Одеса, 27-28 жовтня 2016 р.**

*Російською, українською мовами*

**Відповідальні за випуск  
Н.Р. Антонюк, О.Д. Довгань**

Підписано до друку 24.10.2016 р. Формат 60 X 84/16  
Ум. друк. арк. 9,3. Зам. №16-442  
Наклад 300 прим. Друк-різографія.

---

Надруковано з готового оригінал-макету  
в друкарні ОДАБА  
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.  
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.  
тел.723-63-21, t.tipografiya@ogasa.org.ua