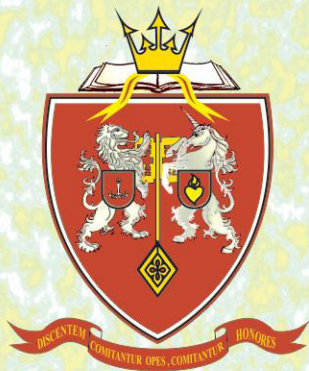


Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Технічний університет Молдови



# 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 КОМПЗИТІВ**

**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

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП КЛАССИФИКАЦИИ ПОЛЕЙ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова С.В., Шарыгин В.Н.  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматриваются методы классификации полей свойств материалов и их соответствие механизмам формирования свойств на основе топологических принципов непрерывной деформации.

**Ключевые слова:** поля свойств материалов, топология.

**АНОТАЦІЯ.** У статті розглядається методи класифікації полів властивостей матеріалів і їх відповідність механізмам формування властивостей на основі топологічних принципів безперервної деформації.

**Ключові слова:** поля властивостей матеріалів, топологія.

**ABSTRACT.** The article deals with methods of classification of material property fields and their compliance with the mechanisms of the property formation based on the topological principles of continuous deformation.

**Keywords:** material property fields, topology.

Одной из проблем экспериментально-статистического моделирования является систематизация и классификация полей свойств материалов.

В настоящее время существует большое количество ЭС-моделей, построенных для набора фиксированных свойств различных строительных композитов (например, [1]). С позиций инженерного исследования они явились промежуточным звеном исследования, позволяющим перейти к компромиссно-оптимальному набору свойств материала. Кроме этого, они содержат в неявной форме информацию о механизмах протекающих в материалах процессов. Выявление этой информации и сопоставление ее с каким-либо конкретным механизмом часто осуществляется нестрого на общих основаниях [2]. Попытка подойти более строго к решению рассматриваемой проблемы

наталкивается на ряд затруднений, одно из которых – большое разнообразие полученных для разных по качественному и количественному составу композитов ЭС-моделей.

Одним из путей преодоления рассматриваемых затруднений является объединение в классы количественно различных, но качественно одинаковых полей свойств. Это, в частности, может быть осуществлено на основе принципа непрерывных преобразований, выдвинутом впервые многими исследователями по отношению к разным по природе системам – минеральным и биологическим [3]. Так, в основной идея теории трансформации Д'арси Томпсона [3] состояла в следующем: если принять форму какого-то данного организма за эталон и отнести эту форму к декартовой прямоугольной системе координат, то форму всякого организма, близкого к начальному, можно рассматривать как непрерывной деформации исходной координатной системы. Томпсон применил этот принцип для классификации двух видов рыб и ракообразных, его иллюстрация хорошо отражает идею классификации по непрерывности (рис.1).

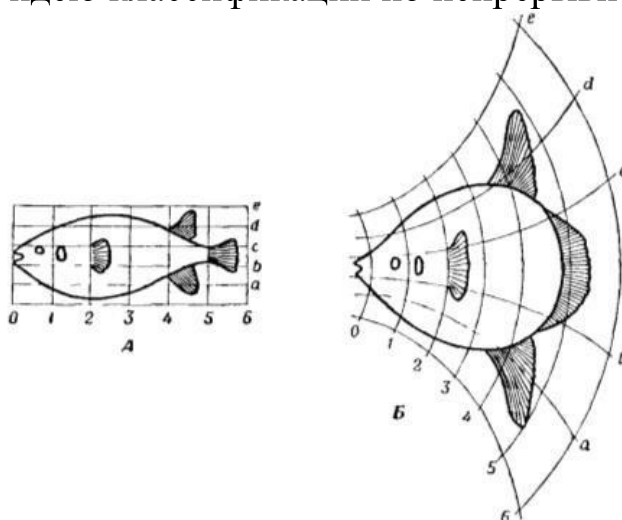


Рис.1. Классификация объектов согласно принципу непрерывных деформаций А и Б – различные объекты одного класса

Для перехода к точным формулировкам необходимо обратиться к некоторым понятиям топологии – раздела математики, объектом изучения которого являются непрерывные преобразования. Рассмотрим поле какого-либо свойства (например, прочности при сжатии  $R_c$ , МПа) материала  $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , где  $x_i$  – переменные состава. Считая  $\Phi$  непрерывной вместе со своими частными производными до второго порядка, вычислим компоненты градиента поля (1):

$$\Phi_i = \frac{\partial \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \quad (1)$$

Качественная структура полей свойств материала может теперь быть проанализирована на основе топологических инвариантов векторного поля (1). Примем следующую гипотезу: поля свойств  $\Phi$  и  $\Psi$  относятся к одному классу и представляют отображение действия одного набора механизмов, если:

1. Они отображают одну и ту же характеристику композита.
2. Они относятся к качественно сходным факторам (пример: количество добавки, водо-вяжущее отношение).
3. Соответствующие векторные поля (1) обладают свойством гомотопии – непрерывной зависимости от параметра [4].

Гомотопия – формализация интуитивного представления о деформируемости одного объекта в другой. Векторные поля  $\Phi$  и  $\Psi$  гомотопны на множестве евклидова пространства  $L$  [4], если существует непрерывная по  $x, t$   $(n+1)$ -мерная вектор-функция  $X(t, x), x \in L, 0 \leq t \leq 1$ , не принимающая нулевых значений и такая, что выполняется (2):

$$\mathbf{X}(x, 0) = \Phi x, \quad \mathbf{X}(x, 1) = \Psi x \quad (x \in L) \quad (2)$$

В топологии доказывается теорема Хопфа – признак гомотопии, основанный на понятии вращения векторного поля: пусть вращение векторных полей  $\Phi$  и  $\Psi$  одинаково, тогда поля  $\Phi$  и  $\Psi$  гомотопны.

Понятие вращения векторного поля и более общее, степень отображения, формируется в топологии классическим путем – подразделением рассматриваемого объекта на симплексы и симплициальные комплексы с соответствующей топологической структурой и нумерацией [4]. Рассмотрим эти понятия на основе индукции, начиная с векторного поля на плоскости. Рассмотрим точку, обходящую кривую в положительном направлении. Вращение векторного поля вдоль этой кривой (индексом замкнутой кривой) на плоскости с введенной ориентацией называется число оборотов вектора в точке при обходе кривой. Число оборотов берется со знаком «+», если вектор вращается от первого орта плоскости ко второму – против часовой стрелки, «-» – в противоположном случае (рис.2).

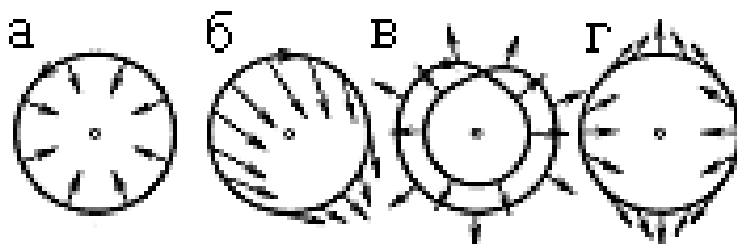


Рис.2. Кривые с индексами а) 1, б) 0, в) 2, г)-1

Для индексов выполняются следующие свойства [5]:

1. При непрерывной деформации замкнутой кривой индекс не меняется, пока кривая не проходит через особые точки.
2. Если индекс кривой отличен от 0, то внутри ограниченной ею области есть хотя бы одна особая точка.

Индекс какой-либо достаточно малой положительно ориентированной окружности с центром в изолированной особой точке называется индексом особой точки. Индекс кривой равен сумме индексов особых точек векторного поля. Вращение векторного поля на плоскости с учетом (1) может быть вычислено как (2):

$$\kappa_L = \frac{1}{2\pi} \int_L \frac{1}{\Phi_1 + \Phi_2} \left[ \left( \Phi_1 \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_1} - \Phi_2 \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_1} \right) dx_1 + \left( \Phi_1 \frac{\partial \Phi_2}{\partial x_2} - \Phi_2 \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_2} \right) dx_2 \right] \quad (2)$$

Здесь интегрирование происходит по замкнутой кривой L плоскости. Для исходного двумерного поля свойств имеем (3):

$$\kappa_L = \frac{1}{2\pi} \int_L \frac{1}{\frac{\partial \Phi}{\partial x_1} + \frac{\partial \Phi}{\partial x_2}} \left[ \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x_1} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_1 \partial x_1 \partial x_2} - \frac{\partial \Phi}{\partial x_2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_1^2} \right) dx_1 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x_1} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_2^2} - \frac{\partial \Phi}{\partial x_2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_1 \partial x_2} \right) dx_2 \right] \quad (3)$$

При построении кривой L пользуются постоянством вращения при непрерывных ее деформациях, не связанных с прохождением особых точек. Первым вариантом является построение L на основе горизонтальных и вертикальных участков сетки, в этом случае одно из слагаемых под интегрального выражения исчезает (рис.3).

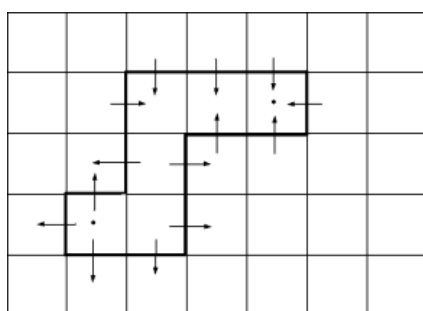


Рис.3. Пример построения кривой L на основе прямоугольных участков сетки

Другой подход основан на учете индекса особых точек, которые известны (рис.2). Выделяются пары, тройки особых точек и рассматриваются контуры вокруг них. Соответствующее значение вращения вдоль кривой определяется как сумма вращений особых точек, заключенных в кривую. Таким образом, строится следующая последовательность: индивидуальные вращения особых точек, вращение вдоль кривой, охватывающей ближайшие пары и так далее.

Такая последовательность кодирует качественную структуру соответствующего поля свойств.

Рассмотрим простейший пример – идентификацию механизмов реализации зависимости теплопроводности штукатурного теплоизолирующего материала от концентрации от соотношения структурообразующих добавок и концентрации полимерной добавки – латекса [2] (рис.4). Модель носит квадратичный характер, вращение векторного поля вокруг произвольной кривой  $L$ , построенной вокруг седловой особой точки, равно  $-1$ ,  $\kappa_l = -1$ . Поскольку при разных значениях других факторов (концентрации пластификатора), присутствует одинаковая и единственная особая точка, делаем вывод о гомотопности соответствующих векторных полей и качественной неизменности реализуемых механизмов.

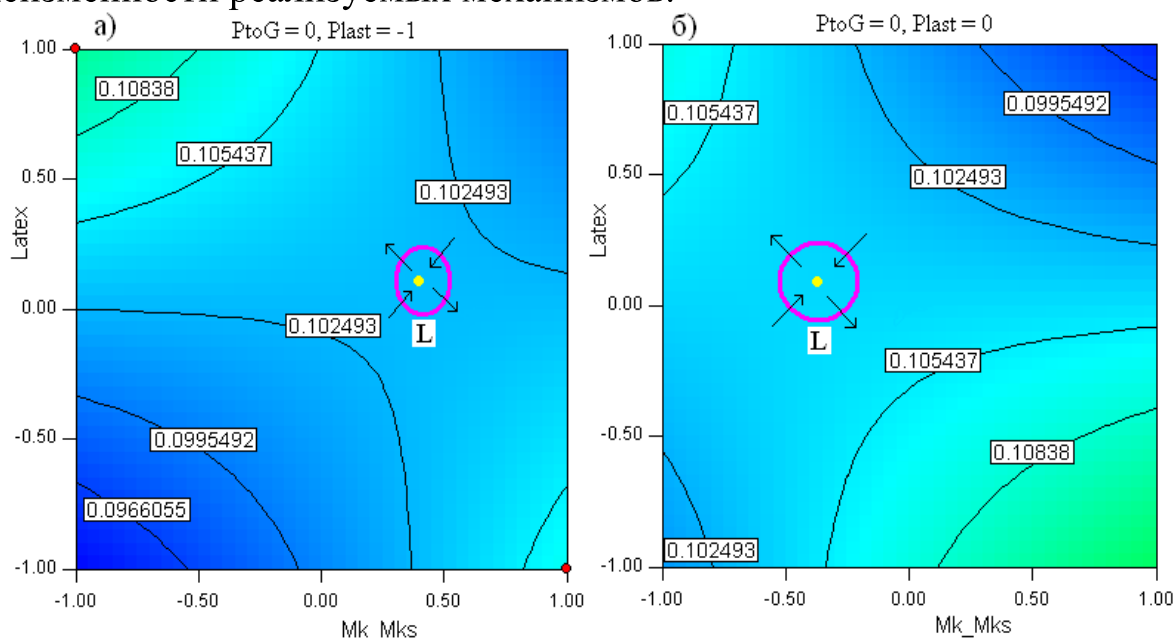


Рис. 4. Двумерные поля теплопроводности теплоизолирующего композита при разных факторах концентрации пластификатора.  
а) Plast = -1; б) Plast = 0

Основным преимуществом предлагаемого способа классификации полей свойств является возможность перехода к многомерному пространству и, соответственно, большему числу факторов. При этом все рассмотренные полезные для качественной классификации свойства вращения сохраняются. Пусть в  $n$ -мерном пространстве построена ЭС-модель  $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$  (не обязательно полиномиальная) какого-либо свойства, непрерывно дифференцируемая вместе с частными производными и  $(n-1)$ -мерная поверхность  $S$ , кусочно-гладкая либо поверхность с краем. Тогда



вращение поля  $K_S$  на поверхности  $S$  в обозначениях (1) определяется как (4) [5]:

$$K_S = \frac{1}{\omega_{n-1}} \int \sum_{S^{i-1}} \left| \begin{array}{ccccccc} \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{i-1}} & \Phi_1 & \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_{i+1}} & \dots & \frac{\partial \Phi_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Phi_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial \Phi_n}{\partial x_{i-1}} & \Phi_n & \frac{\partial \Phi_n}{\partial x_{i+1}} & \dots & \frac{\partial \Phi_n}{\partial x_n} \end{array} \right| \cos(n, x_i) \left( \sum_{i=1}^n \Phi_i^2 \right)^{-\frac{n}{2}} dS \quad (4)$$

Здесь  $n$  – орт внешней нормали к поверхности  $S$ ,  $\omega_{n-1}$  – площадь поверхности  $(n-1)$  – мерной единичной сферы  $\omega_{n-1} = \frac{2\pi^{\frac{n-1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}$ , при  $n$

$=3 \quad \omega_{n-1} = 4\pi$ . Пользуясь рассмотренным выше методом сеток в  $n$ - мерном случае либо подсчетом суммы индексов особых точек можно найти последовательность значений вращения  $K_S$  при различных  $S$  и, таким образом, перейти к классам многомерных ЕС-моделей.

Следует отметить, что наиболее часто в материаловедческих исследованиях используются модели-квадрики, для которых идентификация может быть проведена существенно проще – приведением поверхностей второго порядка к стандартному (каноническому) виду, подсчетом инвариантов. Предлагаемый метод представляется ценным для сложных нелинейных зависимостей свойств от факторов в многофакторном эксперименте, а также для идентификации функций желательности.

1. Kersh V., Kolesnikov A., Lyashenko T., Pidkapka, M. Structurally-Oriented Design of the Heat Insulation Plastering Material / No: Proceedings of REHVA Annual Conference 2015, Latvija, Rīga, 6.-9. maijs, 2015. Rīga: RTU PRESS, 2015, pp. 241-244 ISBN 978-9934-10-685-9

2. 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

3. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. - 215 с.

4. Красносельский М. А., Топологические методы в теории нелинейных интегральных уравнений. Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, 1956, 392 с.

5. Петровский И. Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений / Под ред. А. Д. Мышкиса, О. А. Олейник. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 296 с.

## 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 полікарбосилатних 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