

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF UKRAINE
KARPENKO PHYSICO-MECHANICAL
INSTITUTE

**FRACTURE MECHANICS
AND PHYSICS OF CONSTRUCTION
MATERIALS AND STRUCTURES**

Collection of scientific works

Issue 9

Edited by: J. J. Luchko

Lviv
Kamenjar
2012

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ім. Г. В. КАРПЕНКА

**МЕХАНІКА І ФІЗИКА
РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ**

Збірник наукових праць

Випуск 9

За загальною редакцією Й. Й. Лучка

Львів
Каменяр
2012

УДК 539.3:624.012:691.15:621.643.001

ББК 38.3

M55

Збірник об'єднує дослідження, присвячені таким проблемам: аналітичні та числові методи в механіці і фізиці руйнування будівельних матеріалів та конструкцій; експериментальні методи дослідження і діагностика роботи будівельних матеріалів та конструкцій; прикладні питання механіки руйнування будівельних матеріалів, конструкцій та споруд; інженерні будівельні конструкції (нафто-, газопроводи, мости і споруди).

Сборник содержит исследования, посвященные следующим проблемам: аналитические и численные методы в механике и физике разрушения строительных материалов и конструкций; экспериментальные методы исследования и диагностика работы строительных материалов и конструкций; прикладные вопросы механики разрушения строительных материалов, конструкций и сооружений; инженерные строительные коммуникации (нефте-, газопроводы, мосты и сооружения).

In this book the papers, which dedicated to following problems: analytical and numerical methods in fracture mechanics and physics of construction materials and structures; experimental methods and diagnostics of construction materials and structures performance; applied problems of fracture mechanics of construction materials and structures, special purpose structures; engineering construction communications (oil, and gas pipelines, bridges and buildings, are given).

Затверджено до друку вченими радами

*Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України
(протокол №5 від 31 травня 2012 р.)*

*Львівського національного аграрного університету
(протокол №7 від 10 травня 2012 р.)*

ISBN 978-966-607-211-0

© Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2012

Рецензенти:

Розділ I: д.ф.-м.н., проф. Г. Т. СУЛИМ, д.т.н., проф. М. Г. ЧАУСОВ
Розділ II: д.т.н., проф. СИЛОВАНЮК, д.т.н., проф. Ю. Ю. ЖИГУЦ
Розділ III: д.т.н., проф. Є. В. ХАРЧЕНКО, д.т.н., проф. Є. М. БАБИЧ
Розділ IV: д.т.н., проф. В. Г. КВАША, д.т.н., проф. О. С. РАСПОПОВ

Редакційна колегія:

Відповідальний редактор д.т.н., проф. Й. Й. ЛУЧКО
Заступник відповідального редактора д.ф.-м.н., проф. Г. Т. СУЛИМ
Відповідальний секретар к.т.н., в.о. проф. І. М. ДОБРЯНСЬКИЙ

Члени редколегії:

академіки НАН України О. М. ГУЗЬ, Л. М. ЛОБАНОВ, В. В. ПАНАСЮК; д.т.н. Є. М. БАБИЧ, д.т.н. С. Ю. БАБИЧ, д.т.н. А. М. БАМБУРА, д.т.н. В. А. БАЖЕНОВ, д.т.н. В. БУЧКОВСЬКИЙ (Польща), д.т.н., проф. Б. Г. ГНІДЕЦЬ, д.т.н. В. С. ДОРОФЕЄВ, д.т.н. В. Г. КВАША, д.т.н., чл.-кор. НАН України: В. І. КИР'ЯН, А. Я. КРАСОВСЬКИЙ, Е. І. КРИЖАНІВСЬКИЙ, д.т.н. П. ЛЕНКЕЙ (Угорщина), д.т.н. Ю. І. НЕМЧИНОВ, д.т.н. Г. М. НИКИФОРЧИН, д.т.н. О. П. ОСТАШ, д.т.н. О. М. ПШІНЬКО, д.т.н. В. Д. ПЕТРЕНКО, д.т.н. К. О. ПІРАДОВ (Росія), д.т.н. В. Г. ПІСКУНОВ, д.т.н. О. С. РАСПОПОВ, д.т.н. М. В. САВИЦЬКИЙ, д.т.н. В. П. СИЛОВАНЮК, д.т.н. О. В. СЕМКО, д.т.н. Є. В. ХАРЧЕНКО, д.т.н. М. Г. ЧАУСОВ, д.ф.-м.н. В. Ф. ЧЕКУРІН, д.т.н. Л. ЧАРНЕЦЬКИЙ (Польща), д.т.н. В. Л. ЧЕРНЯВСЬКИЙ, д.т.н. Л. О. ШЕЙНІЧ, д.т.н. П. В. ЯСНІЙ.

М. М. Гивлюд¹, Н. П. Холод¹, Р. С. Яковчук²

Визначення компонентного складу та технологічного режиму нанесення атмосферостійких захисних покриттів для бетону

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку матеріалознавства існує потреба створення принципово нових видів захисних матеріалів для бетону та виробів на його основі, які експлуатуються в умовах одночасної дії несприятливих атмосферних факторів та біологічного впливу. При цьому необхідно враховувати вартість самого покриття та нанесення його на поверхню матеріалу. Широкого використання набули захисні матеріали на основі просочувальних розчинів (різновидів ГКР та інших), але їх довговічність складає до 5 років.

Композиційні захисні покриття на основі поліорганосилоксанів, оксидних та силікатних наповнювачів сьогодні широко використовуються у промисловості, проте вони володіють низькою захисною функцією, що пояснюється низькою адгезійною міцністю в умовах високої вологості та знакозмінних температур. Тому для підвищення захисного ефекту до складу покриттів необхідно вводити добавки, які інтенсифікують процеси взаємодії між компонентами покриття з утворенням нових атмосферостійких силікатних фаз, підвищення міцності силіційкисневого каркасу шляхом введення волокнистих силікатів (волокон) та формування перехідної зони на межі контакту «покриття-підкладка».

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При формуванні захисного шару на поверхні матеріалу необхідно враховувати фізико-хімічні особливості будови обох складових. Наявність у бетоні силікатних кристалічних та аморфізованих частинок, які

¹ Національний університет «Львівська політехніка».

² Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

сумісні зі силіційорганічними речовинами, створює передумови надійного зчеплення на місці поділу фаз [1].

Відомо [2], що поверхня силікатних матеріалів при нормальних умовах є гідратована, а при обробці її силіційорганічними речовинами завдяки хімічній взаємодії утворюється новий зв'язок Si-O-Si [3]. При використанні мономерних гідрофобізуючих речовин сорбована плівка матеріалу реагує з реакційними групами біля атомів силіцію, утворюючи силаноли, що призводить до його хімічного зв'язування з поверхнею матеріалу. При цьому відбувається зшивання молекул гідрофобізатора у суцільну силоксанову сітку, яка щільно облягає всю доступну гідрофобізуючому розчину поверхню обробленого матеріалу [4].

Мета роботи полягає у встановленні компонентного складу гідрофобізуючого захисного покриття методом математичного планування експерименту.

Результати досліджень. Склад вихідних композицій для атмосферостійких захисних покриттів та вплив технологічних чинників на їх властивості визначали за допомогою методу математичного планування експерименту [5].

Планування експерименту при дослідженні діаграм «склад-властивості» [6, 7] проводили за умови, що досліджувана властивість є неперервною функцією аргументу і може з достатньою точністю бути описана поліномом, запропонованим Шеффе, який для досліджуваної трикомпонентної суміші має вигляд:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

Для оцінки коефіцієнтів приведенного полінома запропоновано план, який забезпечує рівномірний розподіл експериментальних точок на $(q-1)$ -мірному симплексі. Точками такого плану є вузли $\{q, n\}$ -симплексної решітки, де q – число факторів, n – ступінь полінома. Розрахункові формули коефіцієнтів полінома отримували введенням у нього послідовно координат всіх точок плану, а замість відгуків – експериментальних значень Y , відповідних даним точкам:

$$\beta_1 = Y_1; \beta_2 = Y_2; \beta_3 = Y_3;$$

$$\beta_{12} = 4Y_{12} - 2Y_1 - 2Y_2; \beta_{13} = 4Y_{13} - 2Y_1 - 2Y_3; \beta_{23} = 4Y_{23} - 2Y_2 - 2Y_3;$$

$$\beta_{123} = 27Y_{123} - 12(Y_{12} + Y_{13} + Y_{23}) + 3(Y_1 + Y_2 + Y_3).$$

Для визначення вмісту компонентів у складі вихідної композиції як змінні було обрано наступні фактори, які визначають його захисні характеристики: X – масовий вміст наповнювача (Al_2O_3); X_2 – масовий вміст зв'язки (КО-08); X_3 – масовий вміст ZnO .

Як залежну змінну використовували показник атмосферостійкості. Зменшення обсягу експерименту дослідження доцільно проводити методом симплекс-решітчастого планування. Вершини трикутника були обрані так, щоб його обсяг охоплював ділянку складів, які характеризуються високими показниками крайового кута змочування (рис. 1).

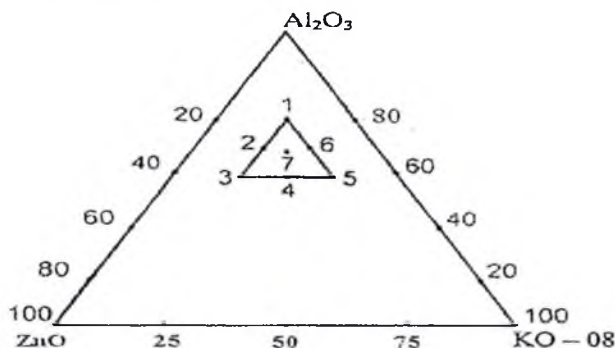


Рис. 1. Ділянка досліджування складів вихідних композицій

Вміст компонентів вихідних композицій обмежений у перерахунку на сухий залишок (мас. %): алюмінію оксиду (Al_2O_3) – 50...60; КО-08 – 30...40; ZnO – 10...20. Симплекс заданий таким складом вихідних «псевдокомпонентів» (мас. %)

$$Z_1(Al_2O_3 - 60; KO-08 - 30; ZnO - 10);$$

$$Z_2(Al_2O_3 - 55; KO-08 - 30; ZnO - 15);$$

$$Z_3(Al_2O_3 - 50; KO-08 - 30; ZnO - 20).$$

Матриця планування експерименту та результати досліджень властивостей захисних покриттів наведено у табл. 1.

Матриця планування експерименту та властивості дослідних зразків

№ досліду	Вміст «псевдокомпонентів»			Натуральні значення факторів, мас. %			Атмосферостійкість крайовий кут змочування, θ°
	Z_1	Z_2	Z_3	X_1	X_2	X_3	
1	1	0	0	60	30	10	93
2	0	1	0	50	40	10	98
3	0	0	1	50	30	20	95
4	0,5	0,5	0	55	35	10	96
5	0,5	0	0,5	55	30	15	94
6	0	0,5	0,5	50	35	15	97
7	0,333	0,333	0,333	53,4	33,3	13,3	95

На підставі отриманих даних, за вищенаведеною методикою розраховано коефіцієнти рівняння регресії, які описують значення властивостей матеріалу покриття від складу вихідної композиції

$$\theta^\circ = 93 \cdot X_1 + 98 \cdot X_2 + 95 \cdot X_3 + 2 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2 \cdot X_1 \cdot X_3 + (-21) \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

За допомогою рівняння (2) побудовані контурні криві рівного виходу атмосфероустійкості матеріалу від вихідного складу (рис. 2).

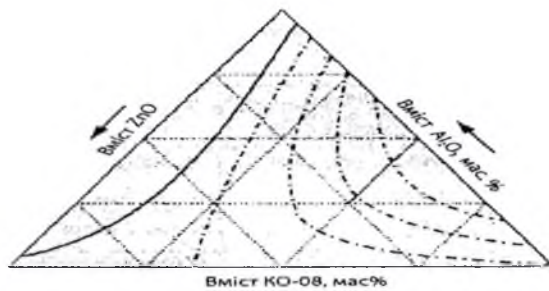


Рис. 2. Контурні криві рівного виходу крайового кута змочування покритого бетону

З рівняння регресії (2) встановлено, що додавання окремо кожного з трьох складових у вихідну композицію сприяє збільшенню показника крайового кута змочування покриттів. Однак

сумісне додавання Al_2O_3 та КО-08 може призвести до незначного зростання вказаної властивості, в той час як сумісна присутність Al_2O_3 та ZnO не впливає на підвищення захисних властивостей, а сумісне додавання всіх трьох компонентів має негативний вплив.

Отже, область максимальних значень атмосферостійких властивостей (максимальна межа атмосферостійкості) (рис. 1) відповідає складу, де вміст Al_2O_3 змінюється у межах 50...60 мас. %, КО-08 – 30...40 мас. %, ZnO – 10...20 мас. % і 98 градусів.

Для оцінки впливу характеристик компонентів композицій та технологічних параметрів на атмосферостійкості покритих матеріалів був проведений повний факторний експеримент (ПФЕ) другого порядку. Змінними факторами були обрані:

X_4 – в'язкість вихідної композиції; X_5 – вміст наповнювача;

X_6 – температурний режим затвердіння покриття. Нульовий рівень змінних та інтервал варіювання наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для проведення другого рівня

Фактори	X_4 , С	X_5 , мас. %	X_6 , К
Нульовий рівень	30	60	333
Інтервал варіювання	4,0	20	40

Таблиця 3

Матриця планування ПФЕ та його результати

№ досліду	Кодові значення факторів			Натуральні значення факторів			Крайовий кут змочування
	X_4	X_5	X_6	X_4 , С	X_5 , мас. %	X_6 , К	
1	1	1	1	34	80	373	89
2	-1	-1	-1	26	40	373	97
3	1	-1	1	34	40	373	98
4	-1	1	1	26	80	373	93
5	1	1	-1	34	80	293	87
6	-1	-1	-1	26	40	293	91
7	1	-1	-1	34	40	293	94
8	-1	1	-1	26	80	293	86

За результатами дослідів і матриці планування експерименту було отримано таке рівняння регресії:

$$\theta^{\circ} = 92 \cdot X_4 - 25 \cdot X_5 + 19 \cdot X_6 - 7 \cdot X_4 X_5 - 7 \cdot X_4 X_6 + X_5 X_6 - 3 \cdot X_4 X_5 X_6 \quad (3)$$

Після перевірки значимості коефіцієнтів у рівнянні регресії (3), воно набуло вигляду:

$$\theta^{\circ} = 92 + X_4 - 25 \cdot X_5 + 19 \cdot X_6 \quad (3)$$

Перевірка показала адекватність отриманого рівняння регресії. $F_p = 1,932$; $F_a = 3,73$, відповідно $F_p < F_a$. На його підставі можна зробити такі висновки: незначному підвищенню значення межі стійкості сприяє зменшення в'язкості композиції, а підвищення вмісту частинок наповнювача призведе до значного зменшення значення атмосферостійкості. Також можна стверджувати, що температурний режим затвердіння покриттів позитивно впливає на збільшення θ° , парні ефекти та потрійна взаємодія при заданих інтервалах варіювання змінних не мають яскраво вираженого впливу на вказаний показник.

Висновок. Проведеними дослідженнями достатньо точно окреслено межі варіювання складу композицій та основних технологічних параметрів, що дало можливість у подальших дослідженнях зі значно меншими затратами часу, матеріалів та ресурсів визначити оптимальні рецептури та технологічний регламент виготовлення захисних покриттів з прогнозованими властивостями.

Summary. By carried out study precisely defines the limits of variation of the composition and the main technological parameters, which allowed for further studies with much lower cost time, materials and resources to determine the best recipes and production schedules manufacturing of protective coatings with predictable properties.

I. Ємченко І. В. Вплив каоліну на технологічні властивості та структуру наповнених силіційорганічних покриттів / І. В. Ємченко, М. М. Гивлюд // Вопросы химии и химической технологии. Днепропетровск. – 2008. – №3. – С. 97 – 98.

2. Лучко Й. Й. Деградація з/б будівель та споруд тривалої експлуатації // Діагностика, довговічність, реконструкція мостів та будівельних споруд. – Львів: Каменяр. – 2002. – №4. – С. 123 – 132.

3. Піднебесний А. П. Новий гідроізоляційний матеріал на основі атмосферних полімерів / А. П. Піднебесний, Н. В. Савельєва та ін. // Будівництво України, 2008. – №5. – С. 30 – 32.

4. Добрянський І. М. Вплив кремнійорганічної добавки ГКЖ-94 на властивості бетону / І. М. Добрянський, І. І. Нікопець // Будівельні матеріали. – 2001. – №4. – С. 31 – 34.

5. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры) / Бондарь А. Г., Статюха Г. А., Потяженко И. А. – К.: Выща школа, 1980. – 264 с.

6. Математичне планування та оптимізація будівельних композитів: навч. Посібн. / С. Й. Солодкий, І. Д. Пелешко, Р. М. Русін та ін. – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2006. – 92 с.

7. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии – М.: Химия, 1985. – 448 с.

Ю. Ю. Жигуц¹, В. Ф. Лазар², Л. І. Косюк¹

Синтез термітної сталі 35Л

Вступ. Термітні реакції відомі вже понад століття і використовуються для виготовлення феросплавів і розігріву екзотермічних ливарних додатків у технологіях ливарного виробництва [1-5]. Використання термітних реакцій для синтезу матеріалу, відкриває широкі можливості отримання литих чорних сплавів будь-якого хімічного складу і структури.

Мета і постановка задачі дослідження. На сьогодні покращення властивостей матеріалів досягають використанням традиційних технологій отримання з наступною термічною, хіміко-термічною та іншими способами обробки. Але їх висока енергоємність, необхідність поєднання декількох технологічних етапів, дотримання екологічних вимог призводять до потреби пошуку інших шляхів надання необхідних властивостей матеріалам та синтезу нових матеріалів, які дають змогу уникнути наведених недоліків. Одним з таких перспективних шляхів може бути теоретично розроблений і експериментально обґрунтований у цій роботі, спосіб отримання сталей із застосуванням сильноекзотермічних реакцій.

Аналіз методу вирішення задачі. На користь термічних сплавів свідчать і переваги термічних процесів, а саме, їх автономність, відсутність потреби у джерелах електроенергії, простота і дешевизна технологічного обладнання, висока продуктивність процесу (час проведення синтезу триває залежно від маси і об'єму металотермітної шихти від декількох десятків секунд до декількох хвилин) [2 – 5]. Крім перерахованого, привертає увагу і можливість використання при компонуванні шихти відходів металообробного і термічного виробництв.

¹ Ужгородський національний університет

² Мукачівський державний університет

ктах.....	98
Силованюк В. П., Юхим Р. Я., Горбач П. В., Ревенко А. В. Оцінювання міцності пошкоджених елементів споруд тривалої експлуатації, що відновлені за ін'єкційними технологіями.....	114
Слободянюк С. А., Буратинський А. П. Матричний метод определения виброползучести.....	136
Слободянюк С. А., Климпотюк Д. В., Моргун А. А. Экспериментально-теоретические исследования нижнего предела длительной нагрузки ЖБК.....	144
Харченко Є. В., Кичма А. О., Савула Р. С. Визначення згинального моменту в трубі магістрального газопроводу з урахуванням пружно-пластичних деформацій.....	153
Харченко Є. В., Підгайний Т. Ю. Експериментальне визначення нижчих власних частот коливань кузова автобуса ЛАЗ-А152.....	161
Чекурін В. Ф., Сеньків Л. М., Дяків В. В. Напружено-деформований стан гнучкої круглої вільно опертої пластинки за концентричного навантаження циліндричним пуансоном.....	174
Чекурін В. Ф., Єгорова О. І. Математична модель релаксації залишкових напружень у газотермічних покриттях.....	182
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ДІАГНОСТИКА РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ І КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИРОБІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ.....	190
Балицький О. І., Коваленко В. І., Гаврилук М. Р., Девяткін Р. М., Федусів І. Р., Еліаш Я. Вплив ЗОР на різучі властивості при механічній обробці сталі 12Х18АГ18Ш.....	190
Гивлюд М. М., Назаревич В. Б., Маргаль І. В. Шляхи підвищення довговічності цегляних конструкцій та	

споруд	197
Гивлюд М. М., Холод Н. П., Яковчук Р. С. Визначення компонентного складу та технологічного режиму нанесення атмосферостійких захисних покриттів для бетону.....	208
Жигуц Ю. Ю., Лазар В. Ф., Косюк Л. І. Синтез термітної сталі 35Л.....	215
Zhiguts Yu., Luthko J. Grey and white special termite cast irons.....	222
Гуменюк Р. В., Когут М. С. Лабораторна установка для зміцнення і контролю сталльної термонапруженої арматури.....	233
Лучко Й. Й., Назаревич Б. Л., Гайда О. М. Влаштування гідроізоляції з профільованого поліетилену під час капітального ремонту підземної споруди....	238
Лучко Й. Й., Парнета Б. З., Нікіфоряк С. В. Дослідження вологості та засоленості бетонів в часі.....	246
Окіпний І. Б., Марущак П. О., Сорочак А. П., Біщак Р. Т. Діагностування структурного стану пластично деформованої теплостійкої сталі.....	255
Солодкий С. Й., Васьків Н. О. Проектування складу бетону за критерієм тріщиностійкості.....	264
Чаусов Н. Г., Хитрик В. О., Березин В. Б. Влияние динамических неравновесных процессов на механические свойства высокопрочной стали.....	271
Чернега Д. Ф., Лучко Й. Й., Жигуц Ю. Ю. Термітний синтез чавунів для гальмівних механізмів.....	279
РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ШТУЧНИХ СПОРУД НА ЗАЛІЗНИЦІ.....	286
Азизов Т. Н. Жесткость и прочность при кручении железобетонных элементов с нормальными трещинами.....	286
Бабич Є. М., Андрійчук О. В. Робота і розрахунок міцності елементів кільцевого перерізу зі сталевібро-	

Kvasha V.G., Kovalchyk T. P., Polec V. M., Salijchuk L. V. Bridge reconstruction at capital repair of Lviv – Krakovets road according to program of preparation to Euro-2012.....	402
Kyrian V. I., Dvoretzky V. I., Malgin M. G. Development of calculation methodology of the deflected mode of welded joints of spatial structures.....	414
Koval P. M., Balabukh Y. A. The problems of ensuring the durability of composite steel and concrete bridges.....	426
Koval P. M., Luchko J. J. Perspectives of improving durability of bridge deck using basalt.....	443
Luchko J. J., Kovalchuk V. V. Some aspects of diagnostics of longevity and reliability of reinforced-concrete bridge buildings.....	451
Piskunov V., Koval M. Research of the bridge with external reinforced deck slab.....	457
Raspopov O., Artomov V. Calculation of the railway bridge forced vibrations with use of topological models.....	467

Наукове видання

Національна академія наук України
Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка

**МЕХАНІКА І ФІЗИКА РУЙНУВАННЯ
БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ**

Збірник наукових праць

Випуск 9

За загальною редакцією
Лучка Йосипа Йосиповича

Редактор і коректор *Тетяна Грицик*
Технічний редактор *Леся Пелехата*

Здано на складання 12. 02. 2012. Підписано до друку 30. 07. 2012.
Формат 60x90/16. Папір офсет. Гарнітура Times. Офсетний друк.
Умов. друк. арк. 31,0. Обл.-вид. арк. 23,33. Тираж 300 прим.

Видавництво "Каменяр". 79000, Львів, МСП, Підвальна, 3.
Свідоцтво Держ. реєстру: серія ДК, №462.
Тел./факс: (032) 235-59-49; ел. адреса: vud_kamenyar@mail.lviv.ua

Виготовлено з готових діапозитивів у друкарні ТзОВ "Простір М".
79000, Львів, Чайковського, 27.