

БМВ

• СТРОИТЕЛЬНЫЕ • МАТЕРИАЛЫ • И • ИЗДЕЛИЯ

BUILDING • MATERIALS AND PRODUCTS •

**№1-2
(101)**

БУДІВЕЛЬНІ

2020

МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

ISSN 2413-9890

Всеукраїнський науково-технічний і виробничий журнал видається з 1959 року



aeroc.ua



№1-2
(101)

2020

ЗМІСТ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

Легкі та ніздрюваті бетони / Легкие и ячеистые бетоны / Lightweight cellular concrete

Лаповська С. Д., Дюжилова Н. О., Демченко Т. Ю.

АВТОКЛАВНИЙ ГАЗОБЕТОН В УКРАЇНІ. ОСНОВНІ ВИРОБНИКИ І АСОРТИМЕНТ ВИРОБІВ	4
Svetlana Lapovskaya, Natalia Dyuzhilova, Tatyana Demchenko AUTOCLAVE AERATED CONCRETE IN UKRAINE. MAJOR MANUFACTURERS AND PRODUCT RANGE	4

Рудченко Д. Г., Сердюк В. Р.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА І ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБІВ З АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ	8
Dmitrii Rudchenko, Vasyl Serdyuk THE POSSIBILITIES OF USING COMPOSITE REINFORCEMENT IN THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND USE OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE	8

ГАЗОБЕТОН — ЦЕ АЕРОК	13
----------------------------	----

В'язучі, бетони та добавки / Вяжущие, бетоны и добавки / Binders, concrete and additives

Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Степасюк Ю.О., Марчук В.В.

ЕФЕКТИВНІ БУДІВЕЛЬНІ РОЗЧИНИ ДЛЯ 3D-ПРИНТЕРА	16
Leonid Dvorkin, Vadim Zhitkovsky, Yuriy Stepasyuk, Vitaliy Marchuk EFFECTIVE 3D PRINTER MORTARS	16

Саницький М. А., Кропивницька Т. П., Круць Т. М., Гев'юк І. М.

МОДИФІКОВАНІ ШВИДКОТВЕРДНУЧІ КЛІНКЕР-ЕФЕКТИВНІ БЕТОНИ	24
M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, T. Kruts, I. Geviuk MODIFIED RAPID HARDENING CLINKER-EFFICIENT CONCRETES	24

Казимагомедов І. Е., Юніс Башир, Саад Салем

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ СЕТЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ МИКРОАРМИРОВАННЫМИ ТРУБАМИ	30
Ibrahim Kazimagomedov, Basheer N. Younis, Saad Salem ASSESSMENT OF FACTORS OF EFFICIENCY OF REPLACEMENT OF PIPELINE NETWORKS BY MICRO-REINFORCED PIPES	30

Лакофарбові матеріали та покриття / Лакокрасочные материалы и покрытия / Paintwork materials and coatings

KOUTEX. ДОСВІД. НАДІЙНІСТЬ. ІННОВАЦІЇ	34
---	----

Нанотехнології / Nanotechnologies / Nanotechnologies

Дерев'яно В. М., Кондратьєва Н. В., Гришко Г. М.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПІВГІДРАТУ СУЛЬФАТУ КАЛЬЦІЮ, МОДИФІКОВАНОГО ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ	36
V. Derevianko, N. Kondratieva, H. Hryshko STRUCTURE AND PROPERTIES OF CALCIUM SULFATE HEMIHYDRATE MODIFIED WITH CARBON NANOTUBES	36

Засновники:

Міністерство розвитку громад
та територій України,
Український науково-дослідний
і проектно-конструкторський
інститут будівельних матеріалів
та виробів ДП «НДІБМВ»

Журнал зареєстрований Державним
комітетом інформаційної політики,
телебачення і радіомовлення України
КВ № 4528 від 01.09.2000 року

Наказом Міністерства освіти і науки
України від 16.05.2016 року
Протокол № 515 журнал
затверджено як фахове видання,
в якому можуть публікуватися
результати дисертаційних робіт
на здобуття наукових ступенів
доктора і кандидата наук.

Матеріали розглянуті на засіданні
Вченої ради ДП «НДІБМВ», схвалені
та рекомендовані до опублікування.
Протокол № 2 від 12.03.2020 року.

Редакція не несе відповідальності
за зміст реклами і оголошень. Автори
опублікованих матеріалів несуть
відповідальність за достовірність
наведених свідчень, точність даних
згідно літератури, що цитується
і відсутність у статтях даних, що
не підлягають відкритій публікації.

Редакція може публікувати статті
у порядку обговорення, не розділяючи
точку зору авторів.

Адреса редакції:

вул. Костянтинівська, 68, оф. 322,
м. Київ-80, 04080, Україна
тел/факс: +38 (044) 425 72 36,
тел.: +38 (044) 425 56 32
ndibmv@ukr.net

Підписано до друку 24.04.2020 р.

Тираж 5000 примірників
Надруковано в типографії:
Видавництво «БАРМИ»
вул. Кирилівська, 86, м. Київ, 04080,

Редактор:

Сучкова О. А.

Дизайн та верстка:

Чумакова О. С.

Кераміка, керамічний клинкер / Керамика, керамический клинкер / Pottery, ceramic clinker

Білоусов О. Ю., Свідерський В. А., Черняк Л. П., Шнирук О. М.
РІЗНОВИДИ ШАМОТУ ЯК ФАКТОР ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОРИСТОЇ КЕРАМІКИ40
Oleg Belousov, Valentin Svidersky, Lev Chernyak, Oleg Shnyruk
DIFFERENT TYPES OF CHAMOT AS FACTOR OF INFLUENCE ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF POROUS CERAMICS40

Огороднік І. В., Гуменюк А. Г.
КЕРАМІЧНА МАСА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА САМОГЛАЗУРУЮЧОГО КЕРАМІЧНОГО КЛІНКЕРУ ДЛЯ ОБЛИЧКУВАННЯ ФАСАДІВ43
Irina Ogorodnik, Alla Gumeniuk
CERAMIC MASS FOR MANUFACTURING OF SELF-GLASSING CERAMIC CLINKER FOR FACILITIES COVERING43
ТОВ «ЗАВОД «ТЕХНО» – ЦЕ ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК46

Полимерні, ізоляційні матеріали / Polymer and insulation materials / Полимерные и изоляционные материалы

Гоц В.І., Ластівка О.В., Томін О.О., Ковальчук О.Г.
КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ ПОЛІЕФІРНИХ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТТІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ НАПОВНЮВАЧІВ РІЗНОЇ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ48
V. Gotz, O. Lastivka, O. Tomin, O. Kovalchuk
CORROSION RESISTANCE OF POLYESTER POWDER COATINGS USING FILLERS OF VARIOUS CHEMICAL NATURE48

Теплоізоляційні матеріали / Heat-insulating materials / Теплоизоляционные материалы

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОДОМ52

Алексєєва Л.В., Волков Б.Г.
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФРАКЦІОНОВАНОЇ ПЕРЛІТОВОЇ
СИРОВИНИ РОДОВИЩА ФОГОШ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ ПІДПРИЄМСТВА
ПРАТ «БЕРЕГІВСЬКИЙ КАР'ЄР» БЕРЕГІВСЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ УКРАЇНИ56
Lidiya Alyeksyejeva, Bogdan Volkov
IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF FRACTIONATED PERLITE RAW MATERIAL
OF FOGOSH DEPOSIT OF BEREGOVO DISTRICT OF TRANS-CARPATIAN REGION OF UKRAINE56

Ринок нерухомості / Real estate market / Рынок недвижимости

Корнило І.М., Гніп О.П.
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ ПРОБЛЕМИ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ НЕРУХОМІСТЮ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ60
Irina Korniylo, Olga Gnyp
SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS IN THE REGIONAL REAL ESTATE MANAGEMENT SYSTEM60

Організація і управління будівництвом / Organization and management of construction

Скрипник А. Л., Литвиненко О. В., Боліла Н. В., Новак Є. В.
ВИБІР І ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ У БУДІВНИЦТВІ64
A. Skripnik, O. Lytvynenko, N. Bolila, E. Novak
SELECTION AND USE OF CONTROL CARDS FOR CONSTRUCTION64

Зелене будівництво / Green building / Зеленое строительство

Купрієнко П. Й.
КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЇ
І УТИЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ «РЕСАЙКЛІНГУ»68
Petro Kuprienko
A COMPREHENSIVE SOLUTION OF ECOLOGY PROBLEMS
AND RECYCLING OF INDUSTRIAL AND SOCIAL WASTE BASED ON THE «RECYCLING» TECHNOLOGY68

Інформація і події / Информация и события / Information and events

Салій І.М.
ПІДСУМКИ ЗА І КВАРТАЛ 2020 РОКУ ПЕРЕКОНУЮТЬ, ЩО БУДІВНИЦТВО — ТО РЕАЛЬНА ЕКОНОМІКА.....72

*Редакційна рада наукового фахового журналу «Будівельні матеріали та вироби»
Голова редакційної ради
(Головний редактор):*

Лаповська С. Д. – д.т.н., заступник директора ДП «НДІБМВ» з наукової роботи, професор кафедри будівельних матеріалів КНУБА (Київського національного університету будівництва та архітектури).

Члени редакційної ради:

Гоц В.І. – д.т.н., професор, Декан будівельно-технологічного факультету, Київський національний університет будівництва та архітектури, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки

Дворкін Л.Й. – д.т.н., професор, зав. кафедрою технології будівельних виробів і матеріалознавства, Національний університет водного господарства та природознавства;

Дюжилова Н. О. – к.т.н., ДП «НДІБМВ»;

Ковальчук Ю. Г. – д.т.н., завідувач науково-дослідної лабораторії інноваційних технологій та енергозбереження ДП «НДІБМВ»;

Куликов П. М. – д.е.н., професор, ректор КНУБА (Київського національного університету будівництва та архітектури), заслужений працівник освіти України, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

Петровський В. Я. – д.т.н., професор, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії інноваційних технологій та енергозбереження ДП «НДІБМВ»;

Рунова Р. Ф. – д.т.н., професор КНУБА (Київського національного університету будівництва та архітектури), лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

Рищенко М. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «Харківський політехнічний інститут»;

Саницький М. А. – д.т.н., професор, завідувач кафедри будівельного виробництва Національного університету «Львівська політехніка», лауреат Державної премії в галузі науки і техніки;

Свідерський В. А. – д.т.н., професор, завідувач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»;

Сердюк В. Р. – д.т.н., професор, декан факультету підвищення кваліфікації Вінницького державного технічного університету;

Скрипник А.Л. – к.е.н., в.о. директора ДП «НДІБМВ»;

Сучкова О. А. – відповідальний секретар, завідувач відділу науково-технічної інформації та маркетингу ДП «НДІБМВ»;

Фішер Х.-Б. – д-р – інж. кафедри «Будівельні матеріали» Інституту будівельних матеріалів ім. Ф.А.Фінгера Веймарського університету «Баухаус» (м. Веймар, Німеччина)

Фиц Станіслав – д-р габ. інж., професор, завідувач кафедри загального будівництва, Факультет будівництва та архітектури, Люблінський технологічний університет, (м.Люблін, Польща)

Червяков Ю. М. – к.т.н., заступник директора з наукової роботи ДП «НДІБВ»;

Черняк Л. П. – д.т.н., професор, головний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії фізико-хімічних досліджень та будівельної кераміки ДП «НДІБМВ».

*Редакционный совет научного журнала «Строительные материалы и изделия»
Председатель редакционного совета
(Главный редактор):*

Лаповська С. Д. – д.т.н., заступитель директора ГП «НИИСМИ» по научной работе, профессор кафедры строительных материалов КНУСА (Киевского национального университета строительства и архитектуры).

Члены редакционного совета:

Гоц В.И. – д.т.н., профессор, Декан строительного-технологического факультета, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, лауреат Государственной премии в области науки и техники

Дворкин Л.И. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологии строительных изделий и материаловедения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования;

Дюжилова Н. А. – к.т.н., ГП «НИИСМИ»;

Ковальчук Ю. Г. – д.т.н., заведующий научно-исследовательской лаборатории инновационных технологий и энергосбережения ГП «НИИСМИ»;

Куликов П. М. – д.э.н., профессор, ректор КНУСА (Киевского национального университета строительства и архитектуры), заслуженный работник образования Украины, лауреат Государственной премии в области науки и техники;

Петровский В. Я. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории инновационных технологий и энергосбережения ГП «НИИСМИ»;

Рунова Р. Ф. – д.т.н., профессор КНУСА (Киевского национального университета строительства и архитектуры), лауреат Государственной премии в области науки и техники;

Рищенко М.И. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ «Харьковский политехнический институт»;

Саницький М. А. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительного производства Национального университета «Львовская политехника», лауреат Государственной премии в области науки и техники;

Свидерский В. А. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой химической технологии композиционных материалов Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»;

Сердюк В. Р. – д.т.н., профессор, декан факультета повышения квалификации Винницкого государственного технического университета;

Скрипник А.Л. – к.э.н., и.о. директора ГП «НИИСМИ»;

Сучкова Е. А. – ответственный секретарь, заведующий отделом научно-технической информации и маркетинга ГП «НИИСМИ»;

Фишер Х.-Б. – доктор – инженер кафедры «Строительные материалы» Института строительных материалов им. Ф.А.Фингера Веймарского университета «Баухаус» (г. Веймар, Германия)

Фиц Станіслав – д-р габ. інж., професор, заведующий кафедрой общего строительства, Факультет строительства и архитектуры, Люблинский технологический университет, (г. Люблин, Польша)

Червяков Ю. Н. – к.т.н., заступитель директора по научной работе ГП «НИИСП»;

Черняк Л. П. – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории физико-химических исследований и строительной керамики ГП «НИИСМИ».

*The editorial board of scientific professional magazine «Building materials and products»
Chairman of the Editorial Board
(Editor in chief)*

Lapovska S. D. – DrSc(Eng), Deputy Director for Scientific Research of the Research Institute of Building Materials and Products, Professor of building materials of the Kyiv National University of Construction and Architecture.

Members of the Editorial Board:

Gotz V. I. – DrSc(Eng), Professor, Dean of the Faculty of Construction and Technology, Kyiv National University of Construction and Architecture, Laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology

Dvorkin L. I. – DrSc(Eng), Professor, Head of the Department of Building Products Technology and Materials Science, National University of Water and Environmental Engineering

Dyuzhylova N. O. – PhD in Engineering, The Research Institute of Building Materials and Products;

Kovalchuk Y. G. – DrSc(Eng), head of the research laboratory of innovative technologies and energy saving of the Research Institute of Building Materials and Products;

Kulikov P. M. – Doctor of Economics, Professor, Rector of the Kyiv National University of Construction and Architecture, the Honored Worker of Education of Ukraine, laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

Petrovsky V. Y. – DrSc(Eng), Professor, senior scientific researcher of the Laboratory of innovative technologies and energy saving of the Research Institute of Building Materials and Products;

Runova R. F. – DrSc(Eng), Professor of the Kyiv National University of Construction and Architecture, laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

Ryshchenko M. I. – DrSc(Eng), Professor, Head of the Technology ceramics, refractories, glass and enamel department of the NTU «Kharkov Polytechnic Institute»;

Sanytsky M. A. – DrSc(Eng), Professor, Head of the Building production department of the National University «Lvivska Polytechnica», laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

Swidersky V. A. – DrSc(Eng), Professor, Head of the Chemical technology of composite materials department of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Laureate of the Ukrainian State Prize in Science and Technology;

Serdiuk V. R. – Doctor of Engineering, Professor, Dean of the Advanced training faculty of the Vinnytsya State Technical University;

Skrupnik A.L. – PdH of Economics, Acting Director of the Research Institute of Building Materials and Products;

Suchkova O. A. – Secretary-General, Head of the Scientific and Technical Information department of the Research Institute of Building Materials and Products;

Fisher H.-B. – Dr.-Ing., Professor, of the Building Materials department of the F.A.Finger Institute of Building materials of the Weimar University «Bauhaus» (Weimar, Germany)

Fic Stanislaw – dr. hab. inz., professor, head of Department of Construction, Faculty of Civil Engineering and Architecture Lublin University of Technology (Lublin, Poland)

Chervyakov Y. M. – DrSc(Eng), Deputy Director for Scientific Research of the Research Institute of Building Materials and Products;

Cherniak L. P. – Doctor of Engineering, Professor, senior scientific researcher of the Research Laboratory for physico-chemical studies and construction ceramics of the Research Institute of construction production.



V. Derevianko



N. Kondratieva



H. Hryshko

V. Derevianko, Doctor of Technical Science, Professor, Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, State Higher Educational Establishment "Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a Chernyshevsky St., 49600, Dnipro, Ukraine,

✉ viktorderevianko2017@gmail.com ☎ +38 (0562) 47-16-22

N. Kondratieva, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Chemical Engineering and Binding Materials, State Higher Educational Establishment "Ukrainian State University of Chemistry and Chemical Technology", 8 Gagarin prosp., 49005, Dnipro, Ukraine,

✉ nataliyavk@yahoo.com ☎ +38(0562) 47-05-66

H. Hryshko, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25 Serhii Efremov St., 49600, Dnipro, Ukraine,

✉ gryshko.anna0101@gmail.com, ☎ +38 (0562) 713-51-37.

Дерев'яно В. М., д. т. н., професор, Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпро, Україна, ✉ viktorderevianko2017@gmail.com ☎ +38(0562) 47-16-22

Кондратьєва Н. В., к. т. н., доцент, Кафедра хімічної технології в'язучих матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», просп. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, ✉ nataliyavk@yahoo.com ☎ +38(0562) 47-05-66

Гришко Г. М., к. т. н., доцент, Кафедра цивільної інженерії, технології будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, ✉ gryshko.anna0101@gmail.com, ☎ +38(0562) 713-51-37.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF CALCIUM SULFATE HEMIHYDRATE MODIFIED WITH CARBON NANOTUBES

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПІВГІДРАТУ СУЛЬФАТУ КАЛЬЦІЮ, МОДИФІКОВАНОГО ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛУГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Abstract. This paper presents research of the influence of concentration of nanomodifiers in the form of carbon nanotubes on the structure and physical and chemical properties of calcium sulfate hemihydrate. With the same nanomodifier content in the gypsum matrix, the maximum increase in strength is achieved by using CNTs functionalized with hydroxyl groups and makes 27–29 %. The increase in strength of the CNT-containing gypsum composite occurs due to the accelerated process of calcium sulfate dihydrate crystallization at the grapheme surface.

Keywords: gypsum binders, nanomodifiers, carbon nanotubes, nanocomposites, strength.

Анотація. У даній статті приведені дослідження впливу концентрації наномодифікаторів у вигляді вуглецевих нанотрубок на структуру та фізико-хімічних властивості напівгідрату сульфату кальцію. При однаковому вмісті наномодифікатора в гіпсовій матриці максимальне збільшення міцності досягається за рахунок використання вуглецевих нанотрубок, функціоналізованих гідроксильними групами, і становить 27–29 %. Збільшення міцності гіпсової композиції, що містить вуглецеві нанотрубки, відбувається з початком прискорення процесу кристалізації дигідрату сульфату кальцію на поверхні графену.

Ключові слова: гіпсові в'язучі, наномодифікатори, вуглецеві нанотрубки, нанокompозити, міцність.

Аннотация. В данной статье приведены исследования влияния концентрации наномодификаторов в виде углеродных нанотрубок на структуру и физико-химические свойства полугидрата сульфата кальция. При одинаковом содержании наномодификатора в гипсовой матрице максимальное увеличение прочности достигается за счет использования углеродных нанотрубок, функционализированных гидроксильными группами, и составляет 27–29 %. Увеличение прочности гипсового композита, содержащего углеродные нанотрубки, происходит за счет ускоренного процесса кристаллизации дигидрата сульфата кальция на поверхности графена.

Ключевые слова: гипсовые вяжущие, наномодификаторы, углеродные нанотрубки, нанокompозиты, прочность.

Introduction

Last time the development of nanostructured materials has become one of the relevant scientific directions of science about nanomaterials [1-4].

Creation of nanocrystalline materials, coatings and strengthening layers with improved performance properties is essential to the optimization of structures, improvement of their reliability, energy-saving, and resource-saving as well as the improvement of strength and antiwear properties of materials

Review of papers

The articles [5-8] represent the analysis of up-to-date approaches to implementing nanotechnology principles in the science of construction materials. The assessment of the impact of nanomaterials on the initial stage of the structure formation process – heterogeneous nucleation (nucleation) has been conducted. The authors of papers investigated the influence of main factors on heterogeneous nucleation, and thus it was determined that the mentioned factors form three mechanisms of influence of primary nanomaterials on the material structure formation process.

A.A. Yeliseyev and A.A. Gusev [9, 10] represent the most important features of functional nanomaterials including their structure, physical properties, and synthesis and research methods; moreover, they describe cases of use of nanomaterials for creating nanoelectromechanical systems, various devices for nanoelectronics and molecular electronics as well as for creating magnetic recording media. These books represent the main methods for obtaining isolated nanoparticles, ultradispersed powders, and dense nanocrystalline materials. Size effects in isolated nanoparticles and dense nanocrystalline materials were discussed in detail. The works also demonstrate an essential role of interfaces in the formation of structure and properties of nanomaterials. The analysis of visualized patterns describing peculiarities of structure and properties of substances in the nanocrystalline state was performed [10].

Various methods for obtaining ultradispersed (nano-) materials were considered namely, mechanical, physical, chemical and biological methods. Up-to-date ideas on electrical, magnetic, thermal, optical, diffusion, chemical, and mechanical properties of nanomaterials were summarized [11-14]. The materials properties dependence on the material structure and geometrical dimensions of nanoparticles, storage and transportation of nanomaterials were also examined.

Based on the performed analysis of reference sources it seems reasonable to study the impact of carbon nanotubes on the structure and main physical and chemical properties of calcium sulfate hemihydrate.

Research objective

Research of the influence of concentration of nanomodifiers in the form of carbon nanotubes on the structure and physical and chemical properties of calcium sulfate hemihydrate.

Research methods

Methods of X-ray phase analysis and calorimetric tests have been used to investigate the mineralogical composition and kinetics of processes occurring in a modified matrix. The structure, size, and morphology of newgrowths have been investigated by means of scanning electron microscopes.

In order to improve the performance of carbon nanotubes (CNT), CNT's surface has been chemically modified with the functional groups [14]. Carboxylation of carbon nanotubes has been carried out by the interaction of nanotubes with various oxidizing agents [16-18]. For the oxidation of CNTs by hydroxyl groups, a mechano-chemical method [14, 18] has been used, which involves the milling of CNTs and alkali within 60 minutes.

Research findings: The influence of the content of nanomodifiers – carbon nanotubes on the structure and main physical and chemical properties of gypsum binders has been determined.

The analysis of gypsum binder and building gypsum-based samples (both non-modified and modified with the CNTs) has been performed during the research.

During this research, we have used carbon nanotubes obtained from a catalytic hydrocarbon pyrolysis unit at the Center for Carbon Nanomaterials of the Vladimir State University named after A.G. And N.G. Stoletovs, Russia [14, 16-18].

The multi-walled carbon nanotubes (CNT) have over 30 layers, length 2-5 μm; diameter 10-60 nm, specific surface area 120 m²/g, purity 95 % [19].

Gypsum binder with the addition of surfactant in the amount of 0,4 % of the dry weight of binder has been used as a reference standard (Table 1).

Carbon nanotubes have been added in the form of a suspension that has been prepared as follows: multi-walled carbon nanotube powder has been first added to a plasticizer water solution with further processing in an ultrasonic dispersion machine, which has enabled us to obtain the stable dispersion of waterborne nanoparticles. Polycarboxylate P-11 from the Macromer Research and Development Enterprise (Vladimir, Russia) [14, 16-18] and Sika Retarder plasticizer (Switzerland) have been used as plasticizers. The suspension preparation process has been controlled based on the parameters as follows: suspension density, colloidal system stability (zeta-potential determination), CNT concentration, and viscosity.

The conducted research studies on the determination of ultimate bending strength and compression strength of bending test beams at 2 hours have shown that the increased nano-additive content results in the improvement of structural characteristics of a composite material. The maximum increase in strength (27–29 %) can be achieved by using carbon nanotubes with hydroxyl groups. When using the initial nanotubes the increase in strength is 13–15 %.

During the research studies, the analysis of the initial gypsum binder, building gypsum-based samples (unmodified and modified with carbon nanotubes) has been conducted (Table 3) with the use of X-ray diffractometer X'Pert PRO MPD 3040/60 Fa. PANalytical (Institute of Ceramics, Glass and Construction Materials (IKGB TU Bergakademie Freiberg)). The following materials have been used as structural models of mineral components for the full-profile quantitative X-ray phase analysis: gypsum CaSO₄·2H₂O (№01-074-1433); bassanite CaSO₄·0,5H₂O (№01-081-1849); anhydrite CaSO₄ (No.01-086-2270), carbon C (№01-075-2078) [19].

Changes in the mineralogical composition can be identified in a cyclic mode. Each cycle lasts 5 minutes and 16 seconds.

Results of the quantitative X-ray diffraction analysis using the Rietveld method are given in Table 2.

The X-ray photograph (Fig. 1, Curve 1) of the gypsum sample at the 1st cycle shows a large amount of both calcium sulfate hemihydrate (24 %) and calcium sulfate dihydrate (up to 67 %) after 1 hardening cycle. The hydration process is completed after 95 minutes at the 18th cycle (Fig. 1, Curve 2). Main impulses of intensity of the reflected lines of calcium sulfate dihydrate correspond to 6200, 4250, and 3300.

Table 1.

Content and properties of the reference standard (over 100%)

Gypsum, %	Surfactant, %	W/G %	pH	Setting time, min		Strength, MPa:	
				Start	End	Compression strength	Bending strength
100	0,4	59	7,2	6	8	4,6	2,2

Date in the X-ray photograph of CNT-modified gypsum binder hardening are indicative of the intensification of the hydration processes. The hydration process is also completed at the 18th hardening cycle (upon the expiration of 95 minutes); however, calcium sulfate dihydrate formation rate is considerably higher. The lines of main impulses of calcium sulfate dihydrate correspond to 11300, 9900, 6000 (Fig. 2).

During the hydration of unmodified building gypsum within 18 cycles (95 minutes), the process is running with the formation of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in the amount of up to 88%. Under the same conditions, the hydration of modified gypsum reaches 93%, and the amount of unreacted CaSO_4 even slightly drops (Table 2).

Based on the data of quantitative X-ray patterns and X-ray patterns over time, the addition of CNTs results in the hydration process enhancement as well as more complete conversion of calcium sulfate hemihydrate to dihydrate.

The analysis of the microstructure of gypsum composition samples has shown that by adding the modifying additive a denser structure of gypsum samples has been formed, which improves the physical and mechanical properties of the calcium sulfate matrix.

It may be assumed that nanodispersed CNT additives act as "crystallization nuclei" on the surface of which calcium sulfate matrix structuring occurs with the achievement of improved structural characteristics of the gypsum composition [15, 20].

Based on the research studies and calculations performed by V.E. Vaganova, V.V. Reshetniak, V.N. Derevianko [15, 20], the interaction of a calcium sulfate dihydrate molecule with the graphene-like surface has been proved using quantum chemical analysis methods. Besides, it has been found that a calcium sulfate dihydrate molecule tends to chemically interact with the surface of the CNTs through a calcium ion due to the overlap of 3p valence Ca^{2+} orbitals and 2p carbon orbitals [15, 20].

The change in the charge of a Ca^{2+} ion (around 17% compared to the initial charge) and in charges of other atoms by no more than 2% due to the interaction of a $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ molecule with the graphene-like surface is indicative of a slight change in the chemical activity of peripheral atoms of the molecule which are involved in intermolecular interactions in a calcium sulfate dihydrate crystal [15, 20]. Thus, strength properties of the CNT-modified gypsum binder has been improved through the accelerated processes of calcium sulfate dihydrate crystallization at the graphene-like surface.

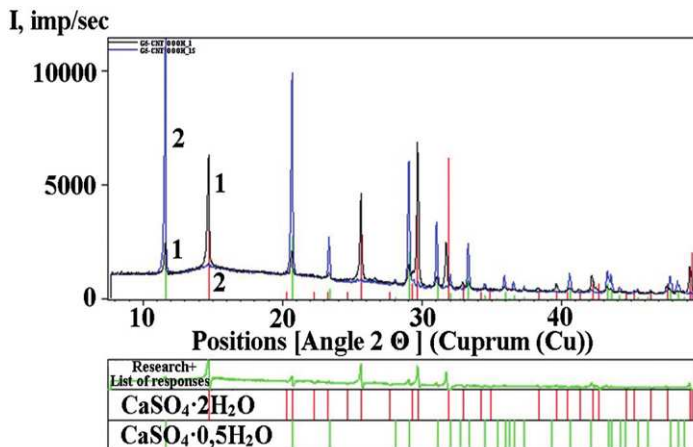


Fig. 1. Rietveld diagram of building gypsum hardening through time G-5:
1 – after the 1st cycle;
2 – after the 18th cycle.

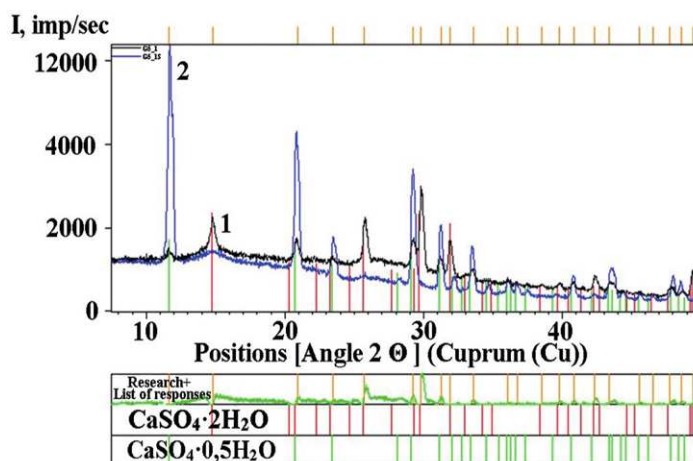


Fig.2. Rietveld diagram of building gypsum hardening through time G-5: modified with CNTs:
1 – after the 1st cycle;
2 – after the 18th cycle.

Table 2.

Changes in mineralogical composition, % Wt

Hardening cycles	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CaSO_4	Impurities
Mineralogical composition of unmodified calcium sulfate hemihydrate after 1 hardening cycle, Curve 1, Fig. 6	24	67	4	5
Mineralogical composition of unmodified calcium sulfate hemihydrate after 18 hardening cycles, Curve 2, Fig. 6	3	88	4	5
Mineralogical composition of modified calcium sulfate hemihydrate after 1 hardening cycle, Curve 1, Fig. 7	14	77	4	5
Mineralogical composition of modified calcium sulfate hemihydrate after 18 hardening cycles, Curve 2, Fig. 7	1	93	1	5

Conclusions

The introduction of carbon nanostructures into gypsum compositions leads to the increased mechanical strength through the formation of a fine crystalline needle-shaped structure of higher density. With the same nanomodifier content in the gypsum matrix, the maximum increase in strength is achieved by using CNTs functionalized with hydroxyl groups and makes 27–29 %. The chemical fictionalization of the surface of carbon nanotubes contributes to the reduced sedimentation effect that is typical for nanoparticles; moreover, it makes it possible to achieve more uniform nanostructure dispersion throughout the modified material volume and provides chemical interaction between the substance matrix and nanotubes.

The interaction of calcium sulfate dihydrate molecule with the graphene-like surface is a chemical process, which has been confirmed by quantum-chemical analysis methods. The increase in strength of the CNT-containing gypsum composite occurs due to the accelerated process of calcium sulfate dihydrate crystallization at the graphene-like surface.

References:

1. Cheng C. Functional graphene nanomaterials based architectures: biointeractions, fabrications, and emerging biological applications / Chong Cheng, Shuang Li, Arne Thomas, Nicholas A. Kotov, Rainer Haag // *Chemical Reviews*. – 2017. – Vol. 117 (3). – Iss. 3. – P. 1826-1914.
2. Kang J. Solution-Based Processing of Monodisperse Two-Dimensional Nanomaterials / Joohoon Kang, Vinod K. Sangwan, Joshua D. Wood, Mark C. Hersam // *Accounts of Chemical Research*. – 2017. – Vol. 50. – Iss. 4. – P. 943-951.
3. Tan C. Recent advances in ultrathin two-dimensional nanomaterials / Chaoliang Tan, Xiehong Cao, Xue-Jun Wu, Qiyuan He, Jian Yang, Xiao Zhang, Junze Chen, Wei Zhao, Shikui Han, Gwang-Hyeon Nam, Melinda Sindoro, and Hua Zhang // *Chemical reviews*. – 2017. – Vol. 117 (9). – Iss. 9. – P. 6225-6331.
4. Yang Y. Prospecting nanomaterials in aqueous environments by cloud-point extraction coupled with transmission electron microscopy / Y. Yang, R. Reed, J. Schoepf, K. Hristovski, P. Herckes, P. Westerhoff // *Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 584. – P. 515-522.
5. Foster L. *Nanotechnology: Science, innovation, and opportunity* / Lynn Foster. – Litres, 2017. – P. 2461.
6. Kolmakov A. *Fundamentals of nanomaterials technology and application of nanomaterials* / A. Kolmakov, S. Barinov, M. Alymov – Litres, 2013. – P. 208.
7. Rakov E.G. *Nanotubes and fullerenes* / E.G. Rakov. – Litres, 2017. – P. 370.
8. Korolev Y.V. *Nanotechnology in construction materials science* / Y.V. Korolev // *Bulletin of MSGU*. – 2017. – Vol. 12. – № 7 (106). – P. 711-717.
9. Yeliseyev A.A. *Functional nanomaterials* / A.A. Yeliseyev, A.V. Lukashyn. – Moscow: Fizmatlit, 2010. – P. 456.
10. Gusev A.I. *Nanomaterials, nanostructures, nanotechnology* / A.I. Gusev. – Moscow: Physico-Mathematical Literature, 2009. – P. 416.
11. Onishchenko G.G. Ensuring the sanitary and epidemiological welfare of the population in conditions of expanded use of nanomaterials and nanotechnologies / G.G. Onishchenko // *Hygiene and Sanitary Science*. – 2010. – № 2. – P. 4-8.
12. Ryzhonkov D.I. *Nanomaterials* / D.I. Ryzhonov, V.V. Levina, E.L. Dzidziguri – Moscow: Binom. – 2010. – P. 365.
13. Alfyorov Zh.I. *Nanomaterials and nanotechnologies. Microsystem technologies* / Zh.I. Alfyorov, A.L. Aseyev, S.V. Gaponov, P.S. Kopyov, V.I. Panov, E.A. Poltoratskiy, N.N. Sibeldin, R.A. Suris. – 2003. – Vol. 8. – P. 3-13.
14. Derevianko V.M. Strength and structural changes in gypsum-based composites modified with clean and functionalized multi-layered carbon nanotubes / V.M. Derevianko, A.H. Chumak, V.Ye. Vaganov, S.Yu. Petrunin, A.V. Noskov // *Construction, Materials Science, Engineering. Series: Starodubov Readings – Dnipropetrovsk: PSACEA SHEI, 2013. – Issue. 67. – P.267-278*
15. Derevianko V.M. The influence of nano-additives on the hydration of gypsum binders / V.M. Derevianko, H.M. Hryshko, V.Yu. Moroz // *Collection of research papers of the Ukrainian State University of Railway Transport*. – Kharkiv: UkrDUZT, 2018. – № 178. – P. 88 – 97.
16. Petrunin S.Yu. The effect of nanosized modifier on the strength of cement composite / S.Yu. Petrunin, L.V. Zakrevska, V.Ye. Vaganov // *XXII International Science and Technology Conference Proceedings "Starodubov Readings. Construction, Materials Science, and Engineering"*. – April 19-21: 2012). – Issue 64. – pp. – 74 – 79. (in Ukrainian)
17. Chumak A.G. Structure and properties of composite material based on gypsum binder and carbon nanotubes / A.G. Chumak, V.M. Derevianko, S.Yu. Petrunin, M.Yu. Popov, V.Ye. Vaganov // *Nanotechnology in Construction: online academic journal*. – № 2 (2013). – pp. 27-37. – Available at: http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf
18. Derevianko V.M. The effect of nanoparticles on calcium sulfate hemihydrate hydration processes / V.M. Derevianko, A.G. Chumak, V.Ye. Vaganov // *Building Materials*. – № 7. – (2014). – pp. 22 – 24. – Available at: http://rifsm.ru/u/f/sm_07_14_fin.pdf (in Russian)
19. Derevianko V. Impact of granulometric composition on mineral binder hydration processes / V. Derevianko, N. Kondratieva, N. Sanitskiy, H. Hryshko // *Journal of engineering science*. – Vol. XXV. – № 3 (2018). – pp. 74 – 84. – DOI: 10.5281/zenodo.2557324 (in Moldova)
20. Reshetnyak V.V. Interaction of calcium ions with carcass carbon structures / V.V. Reshetnyak, V.Ye. Vaganov, S.Yu. Petrunin, A.G. Chumak, M.Yu. Popov // *J. Construction, Materials Science, Mechanical Engineering*. – 2013. – № 67. – pp. 261 – 266.