



Науково-технічний, виробничий та інформаційно-аналітичний журнал

Т, 5102

[www.niisk.com](http://www.niisk.com)



# НАУКА ТА БУДІВНИЦТВО

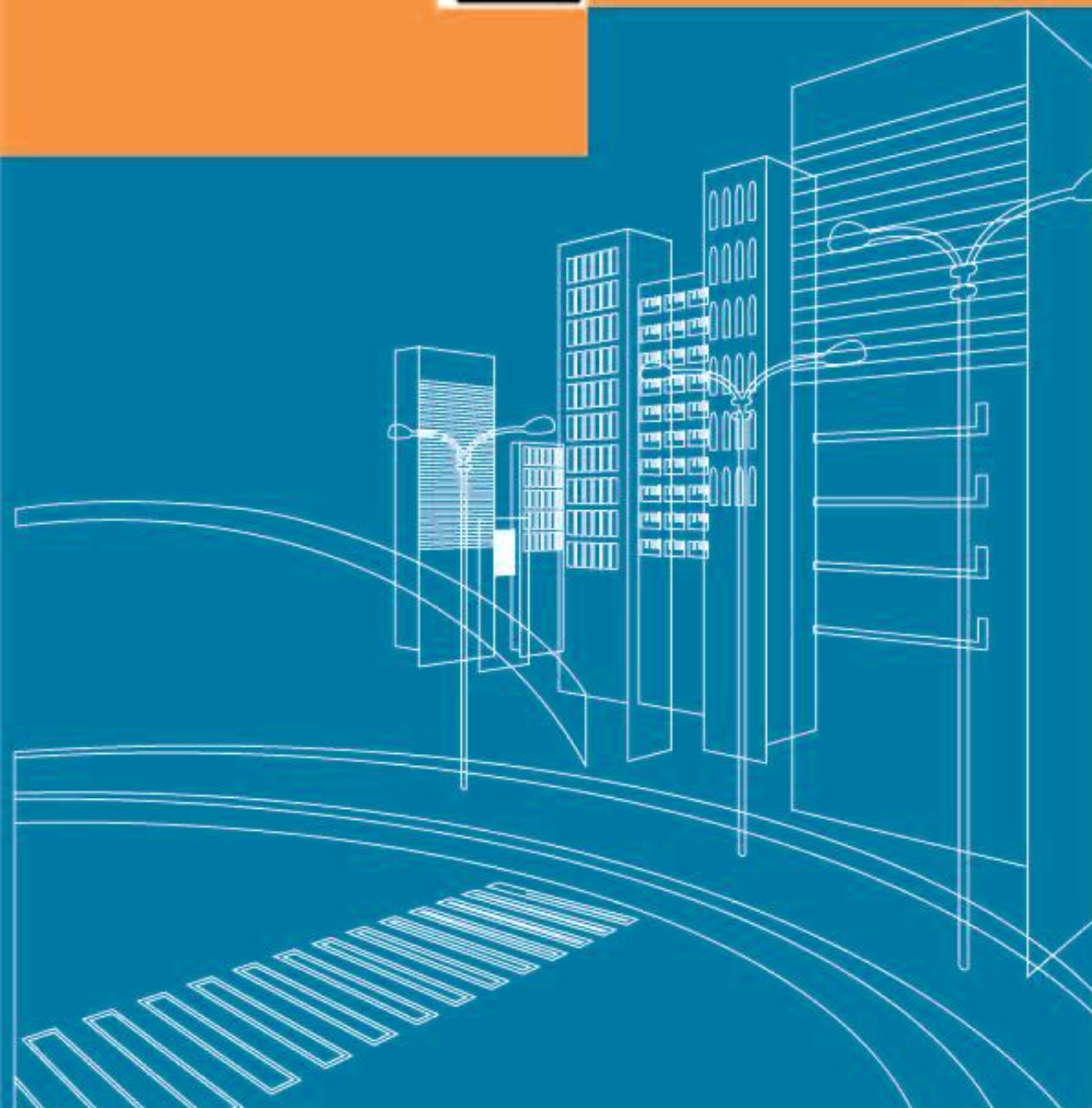
Т, 5102

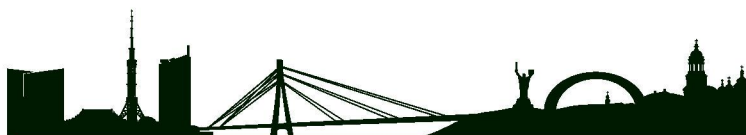
Питання оцінювання відповідності продукції у будівництві

Особливості структуроутворення бетону в ранні терміни тверднення

Використання технологічних залишків сталевого листового прокату як робочої арматури залізобетонних конструкцій

Автоклавний газобетон при будівництві малоповерхових і багатоповерхових будівель





# НАУКА ТА БУДІВНИЦТВО

1'2015

## ЗАСНОВНИК

Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 20575-10375 Р від 24.02.2014 р.

### Редакційна колегія:

#### Голова редакційної колегії:

Фаренюк Г.Г. д.т.н.

#### Головний редактор:

Тарасюк В. Г., к.т.н.

#### Заступник головного редактора:

Козелецький П.М.

#### Відповідальний секретар:

Клепшкова Н.С., к.т.н.

#### Дизайнер:

Чорна К.В.

Бамбура А.М., д.т.н.

Глазкова С.В. к.т.н.

Дорофеев В.С., д.т.н., проф.

Єгунов К.В., д.т.н., проф.

Жарко А.О., к.т.н.

Іванченко Г.М., д.т.н., проф..

Івлєва Н.П., к.е.н.

Калюх Ю. І., д.т.н., проф.

Кащенко О.В. д.т.н., проф.

Кривошеєв П.І., к.т.н., проф.

Крітов В.О., к.т.н.

Лаповська С.Д., д.т.н.

Мар'єнков М.Г., д.т.н.

Матвєєв І.В., к.т.н.

Немчинов Ю. І., д.т.н., проф.

Слюсаренко Ю.С., к.т.н.

Червинський Я. Й., к.т.н.

Шейніч А. О., д.т.н., проф.

Шилюк П. С., к.т.н.

Шокарев В. С., к.т.н.

Затверджено до друку Науково-технічною радою  
ДП НДІБК (Протокол № 2 від 16.03.2015 р.)

Журнал включено до переліку наукових фахових видань, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (Затверджено наказом Міністерства освіти і науки від 06.03.2015 р. №261).

При передруках посилання на «Наука і будівництво» є обов'язковим. За зміст реклами відповідає рекламодавець. Редакція не завжди поділяє думку авторів.

**Адреса редакції:** вул. Івана Клименка, 5/2, м. Київ-37, 03680, тел. 044-249-37-85 E-mail: adm-inst@ndibk.kiev.ua, URL: <http://www.niisk.com>

© "Наука та будівництво" 2015

Підписано до друку: 16.03.2015

Друк: ТОВ «Олбі-ІНК»

Наклад: 500 примірників

## ЗМІСТ

4

**Тарасюк В.Г., Лащ Н.В.**

Питання оцінювання відповідності продукції у будівництві

7

**Шейніч А.О., Миколаєць М.Г., Іонов Д.С.**

Вплив складу бетону на деформації залізобетонних конструкцій в ранні терміни його тверднення

10

**Ляшенко Т.В.**

О математических моделях в строительном материаловедении

18

**Семенюк С.Д.**

Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с основанием в условиях образования карста и на подрабатываемых территориях

24

**Шмиг Р.А., Добрянський І.М.,  
Добрянська Л.О., Бурчєня С.П.,  
Нікіфоряк С.В.**

Використання технологічних залишків сталевого листового прокату як робочої листової арматури залізобетонних конструкцій

27

**Кущенко В.Н., Губарев М.В.**

Влияние скорости движения конвейера на напряжённо-деформированное состояние пролётного строения решётчатой конвейерной галереи

30

**Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М.,  
Царьов Е.С., Дац А.Я.**

Аналіз вертикальних деформацій групи житлових будинків старої забудови

33

**Емец Е.В.**

Исследование влияния податливости основания на напряженно-деформированное состояние крупнопанельного здания с использованием ПК "ЛИРА"

36

**Бєлінський І.В., Лемешко В.А.**

Експериментальне дослідження залежності динаміки блокових середовищ від їх статичного навантаження

39

**Давиденко О.І., Давиденко М.О.**

До розрахунку витривалості сталевих конструкцій з використанням деформаційних кривих утоми і параметра енергопоглинання матеріалу

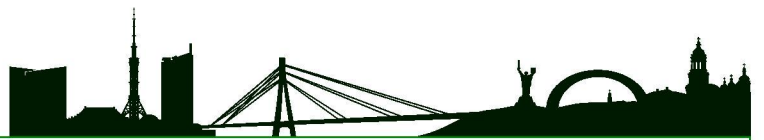
42

**Брынзин Е.В., Парута В.А.**

Применение автоклавного газобетона при возведении малоэтажных и многоэтажных зданий

46

**Слісєнко О.В., Бєй І.М., Будзінська В.Л.**  
Захисні органо-сілікатні композиції



# SCIENCE & CONSTRUCTION

1'2015

## FOUNDER

State enterprise «State Research Institute of Building Constructions»

Certificate of state registration  
KV № 20575-10375 R dated on 24.02.2014

## Editorial Board:

### Head of Editorial Board:

Dr G.Farenyuk

### Editor-in-chief:

PhD V.Tarasyuk

### Chief editor deputy:

Kozeletskiy P.M.

### Executive secretary:

PhD N.Klepikova

### Designer:

Chorha K.V.

Dr A.Bambura

Prof. V.Dorofeev

PhD L.Zharko

PhD N.Ivleva

Prof. O.Kashchenko

Prof. P.Kryvosheiev

Dr S.Lapovska

PhD I.Matveev

PhD Yu.Slyusarenko

Prof. L.Sheinich

PhD V.Shokarev

PhD S.Glazkova

Prof. K.Yegupov

Prof. G.Ivanchenko

Prof. Yu.Kaliukh

Eng. P.Kozeletskiy

PhD V.Kritov

Dr M.Maryenkov

Prof. Iu.Nemchynov

PhD J.Chervynskiy

PhD P.Shiliuk

Issue is approved for print by Scientific and technical Council of SE NIISK (Protocol №2 dated on 16.03.2015)

Journal is included in List of the scientific professional issues, where the dissertation works results may be published (It is approved by order of Ministry of education and science of Ukraine, dd. 06.02.2015, № 261).

The referencing on "Science & Construction" is obligatory when reprinting. The advertiser is responsible for content of advertisement. The Editorial Board may be not agreed with authors' opinion

## Address of Editorial Board:

5/2 Ivan Klimenko str., Kyiv -37, 03037,

Tel. 044-249-37-85 E-mail:adm-inst@ndibk.kiev.ua

URL:<http://www.niisk.com>

© "Science & Construction, 2015

Signed for printing: 16.03.2015

Printing: TOV «Olbi-INK»

Drawing: 500 copy

## CONTENT

4

**V.Tarasyuk, N.Lashch.**  
Issues of the products compliance assessment in construction engineering.

7

**L.Sheinich, M.Mykolaets, D.Ionov.**  
Influence of concrete composition on deformations of the concrete structures in early terms of hardening

10

**T.Liashenko.**  
About math models in civil material science

18

**S.Semeniuk.**  
Interaction of the buildings and facility foundations with base in karst formation conditions and on underworked territories

24

**R.Shmig, I.Dobrianskiy, L. Dobrianska, S.Burchenia, S.Nikiforiak.**  
Using of the technological remains of steel rolled sheet as work sheet reinforcement for reinforced concrete structures

27

**V.Kuschenko, M.Gubarev.**  
Influence of conveyor movement velocity on stress-strain state of superstructure of lattice conveyor gallery

30

**D.Gladyshev, G.Gladyshev, E.Tsarev, A.Dats.**  
Analysis of the vertical deformations of old construction residential buildings block

33

**E.Emets.**  
Research of influence of base compliance on stress-strain state of large-panel building with application of software "LIRA"

36

**I.Belinskiy, V.Lemeshko.**  
Experimental research of dependence of block mediums dynamic from their static loading

39

**O.Davydenko, M.Davydenko.**  
Concerning to calculation of the steel structures persistent with application of the deformation fatigue curves and parameter of material energy adsorption

42

**E.Brynzin, V.Paruta.**  
Application of steam-cured gas-concrete for erection of small-storey and multi-storey buildings

46

**O.Slisenko, I.Bey, V.Budzinska.**  
Protective organic-silicate compositions



# ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ У БУДІВНИЦТВІ

УДК 006.063:69 (083.7)

## АВТОРИ

**ТАРАСЮК В.Г.**, Заступник директора з наукової та нормативно-методичної роботи ДП НДІБК, канд. техн. наук

**ЛАЩ Н.В.**, завідувач відділу ДП НДІБК

## АНОТАЦІЯ

*У статті наводиться аналіз законодавчої бази Системи оцінювання відповідності у будівництві згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель та споруд і сертифікації будівельної продукції в Системі УкрСЕПРО, а також наводяться відомості про Орган з сертифікації продукції «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (ОС «ЦЕНТРОСЕПРОБУД»)».*

*The analysis of the legal framework of conformity assessment systems in the building in accordance with the Technical Regulations of construction products, buildings and certification of construction products in the system UkrSEPRO and provides information on Certification Body of products "CENTROSEPROBUD" is presented.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

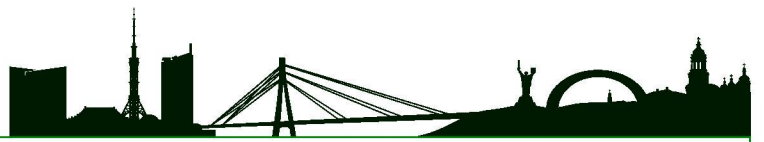
ідтвердження відповідності, технічний регламент, усунення технічних бар'єрів у торгівлі, гармонізація системи оцінки відповідності

З червня 2011 року в Україні діє законодавство про ринковий нагляд і безпечність продукції. Відповідно до вимог ст.5 Закону України «Про загальну безпечність нехарчової продукції» [1], продукція вважається безпечною, якщо вона відповідає вимогам щодо забезпечення безпечності продукції, встановленим законодавством. Доказом безпечності продукції є її відповідність національним стандартам.

Підтвердження відповідності в законодавчо регульованій сфері для окремих видів продукції, яка може становити небезпеку для життя та здоров'я людини, тварин, рослин, а також майна та охорони довкілля, запроваджується технічними регламентами.

З 01 січня 2011 року в Україні запроваджено оцінювання відповідності у будівництві згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель та споруд, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006р. №1764.

Технічний регламент будівельних виробів, будівель та споруд (далі – Технічний регламент) розроблено з метою виконання вимог Угоди про технічні бар'єри в торгівлі та європейської практики. Регламент враховує вимоги Директиви Ради Європи 89/106/ЄЕС від 21 грудня 1988р. про зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів ЄС стосовно будівельних виробів.



Технічний регламент визначає основні вимоги до будівельних виробів, будівель і споруд щодо забезпечення механічного опору та стійкості, дотримання вимог пожежної безпеки, забезпечення безпеки життя і здоров'я людини та захисту навколишнього середовища, безпеки експлуатації, захисту від шуму, економії енергії, а також процедури оцінки відповідності виробів установленим вимогам та порядок їх застосування [2].

Виробник чи постачальник продукції повинен підтвердити відповідність продукції вимогам технічного регламенту шляхом застосування однієї з таких процедур оцінки відповідності.

Декларування відповідності - процедура, за допомогою якої виробник (імпортер) або уповноважена ним особа під свою повну відповідальність документально засвідчує (складає декларацію відповідності), що продукція відповідає встановленим законодавством вимогам.

Сертифікація - процедура, за допомогою якої визнаний в установленому порядку орган документально засвідчує відповідність продукції, систем якості, систем управління якістю, систем екологічного управління, персоналу встановленим законодавством вимогам.

Під час сертифікації продукції використовуються процедури оцінки відповідності або модулі, наведені у розділі «Оцінювання відповідності» ДСТУ на конкретний вид продукції (регламентних технічних умовах), за результатами яких призначений орган оцінки відповідності видає сертифікат відповідності на продукцію.

Виробників продукції та дистриб'юторів цікавить питання: чи повинні вони підтверджувати відповідність саме їхньої продукції? З цією метою Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства складає та затверджує Перелік національних стандартів, які в разі добровільного їх застосування є доказом відповідності продукції вимогам Технічного регламенту, та оприлюднює його на своєму сайті.

Наразі в Україні також продовжує діяти Система сертифікації УкрСЕПРО. Сертифікація продукції поділяється на два види: обов'язкову та добровільну. Будівельна продукція підлягає обов'язковій сертифікації згідно з розділом 14 Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні (наказ Держспоживстандарту України № 28 від 01 лютого 2005р. (у редакції наказу Мінекономрозвитку від 06.11.2013 №1308)).

В чому відмінність цих двох видів сертифікації? «Переліком...» визначається не тільки продукція, але і нормативний документ, на відповідність якому вона перевіряється, однозначний перелік показників, за якими необхідно проводити перевірку та посилення на методи випробувань. Продукція також визначена кодами ДКПП (державний класифікатор продукції та послуг) та УКТЗД (Українська класифікація товарів

зовнішньоекономічної діяльності). Тільки за умови співпадіння всіх цих ідентифікаційних ознак вона підпадає під обов'язкову сертифікацію. В такому випадку, проводиться перевірка обов'язково за всіма показниками, що вказані у розділі 14 «Переліку...».

Добровільна сертифікація може проводитись на відповідність будь-якому набору показників з нормативних документів на продукцію. Перелік показників для підтвердження визначається спільно замовником сертифікаційних випробувань та органом сертифікації. При добровільній сертифікації може проводитись перевірка навіть за одним з показників (наприклад, зовнішній вигляд виробу, точність геометричних розмірів, функціональні показники тощо).

Питання одночасної дії Технічного регламенту, а також Системи сертифікації УкрСЕПРО на сьогодні в Україні регламентується Законами України "Про підтвердження відповідності", "Про технічні регламенти та оцінку відповідності", «Про будівельні норми», «Прорегулювання містобудівної діяльності», Декретом Кабінету Міністрів України від 10.05.1993 № 46-93 "Про стандартизацію і сертифікацію" та іншими нормативно-правовими актами, що регулюють відносини в цій сфері.

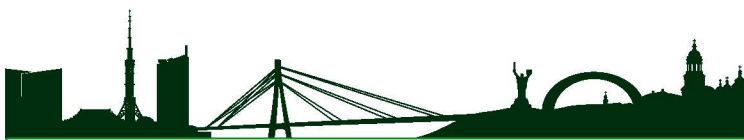
Водночас окремі норми цих законодавчих актів дублюються або не узгоджуються між собою, а деякі не враховують окремих норм Угоди про технічні бар'єри у торгівлі СОТ.

Як відомо, у країнах ЄС в 2013 році скасовано дію Директиви Ради 89/106/ЄЕС, на заміну якій почав діяти Регламент №305/2011 Європейського Парламенту і Ради, що встановлює гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів.

З метою забезпечення гармонізації системи оцінки відповідності в Україні з відповідними положеннями Регламенту №305/2011, який набув чинності з 2013 року, Мінрегіоном України розроблено Проект Закону України «Про гармонізацію з нормами законодавства Європейського Союзу основних вимог до будівель та споруд, а також спрощення умов для розміщення на ринку будівельних виробів» [3], який наразі очікує розгляду Верховною Радою.

Основними завданнями законопроекту є:

- усунення технічних бар'єрів у торгівлі будівельною продукцією з країнами ЄС та євроорієнтованими країнами;
- підвищення рівня конкурентоспроможності національних виробників будівельних виробів в Україні та за її межами;
- скасування обов'язкової сертифікації будівельних виробів;
- підвищення рівня інформованості національних споживачів щодо якості будівельних виробів; прискорення євроінтеграційних процесів в Україні.



Проект Закону замінить дію Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд на виконання доручення пункту 22 Плану заходів щодо виконання Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 березня 2013 р. №157.

Також, для узгодження процедури оцінювання відповідності та обов'язкової сертифікації прийнято Закон України "Про технічні регламенти та оцінку відповідності", результати дії якого з 01 січня 2018р. буде відмінено дію Декрету Кабінету Міністрів України від 10.05.1993 № 46-93 "Про стандартизацію і сертифікацію".

На сьогодні виробникам продукції та заявникам на проведення робіт із сертифікації не завжди вдається визначитись щодо системи оцінювання відповідності продукції у будівництві: згідно з Технічним регламентом чи в Системі сертифікації УкрСЕПРО?

У той же час, допомогти у цьому питанні можуть акредитовані та призначені органи з сертифікації, що встановлюють правила проведення сертифікації, визначають процедури оцінювання відповідності, а також учасників робіт із сертифікації.

Одним з таких органів є Орган з сертифікації продукції «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (ОС «ЦЕНТРОСЕПРОБУД»)» (далі - ОС "ЦЕНТРОСЕПРОБУД") [4], що акредитований Національним агентством з акредитації України на відповідність ДСТУ EN 45011-2001 (атестат акредитації №10106 від 08 травня 2014 року), призначений і уповноважений Мінекономрозвитку України на проведення робіт із сертифікації продукції та послуг в Системі сертифікації УкрСЕПРО (свідоцтво №UA.P.061) та призначений в Системі оцінювання відповідності згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд (свідоцтво UA.TR.041).

ОС "ЦЕНТРОСЕПРОБУД" виконує роботи з сертифікації усіх видів будівельної продукції, а також здійснює сертифікаційне забезпечення з питань митного оформлення продукції (видача замовнику довідок, рішень та листів).

У складі ДП НДІБК діють 6 акредитованих на відповідність ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 підрозділів, що виконують весь комплекс робіт з випробування будівельних матеріалів, виробів, конструкцій, будівель та споруд (рис.1).

За результатами сертифікації заявник має змогу отримати два види сертифікатів: в Системі УкрСЕПРО та Системі оцінювання відповідності у будівництві згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд, а також отримати відповіді на питання стосовно складання декларацій на будівельні вироби, які вони виготовляють.

Переваги для виробників, постачальників послуг, користувачів, споживачів, регулятивних органів тощо більш, ніж очевидні. Виробники та постачальники послуг, що є користувачами послуг з оцінки відповідності, можуть виділитися серед інших конкурентів. Вони отримують можливість виходити на нові закордонні ринки, долаючи можливі бар'єри у торгівлі, здобувають солідну репутацію та покращують задоволення потреб споживачів і здобувають їхню прихильність, постійно та послідовно виправдовуючи їх очікування.

За результатами проведення робіт з оцінки відповідності споживачі та кінцеві користувачі отримують довіру до певної продукції, оскільки ця продукція була офіційно оцінена стосовно якості, безпеки або інших вимог і має відповідне маркування, декларацію або сертифікат відповідності.

СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ В БУДІВНИЦТВІ ЗГІДНО З ТЕХНІЧНИМ РЕГЛАМЕНТОМ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ, БУДІВЕЛЬ І СПОРУД  
CONFORMITY ASSESSMENT SYSTEM IN THE CONSTRUCTION IN ACCORDANCE WITH TECHNICAL REGULATIONS ON CONSTRUCTION PRODUCTS AND BUILDINGS

ОРГАН З СЕРТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ «ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ» (ОС «ЦЕНТРОСЕПРОБУД») / PRODUCT CERTIFICATION BODY «THE STATE RESEARCH INSTITUTE OF BUILDING CONSTRUCTIONS» (OS "CENTROSEPROBUD")

**СЕРТИФІКАТ ВІДПОВІДНОСТІ**  
CERTIFICATE OF CONFORMITY

Регістраційний № / Registration No: \_\_\_\_\_ Термін дії з / Term of validity is from \_\_\_\_\_ до / to \_\_\_\_\_

Сертифікат видано / Certificate is issued on \_\_\_\_\_

Продукція / Production: \_\_\_\_\_

Виробник / Producer: \_\_\_\_\_

Додаткова інформація / Additional information: \_\_\_\_\_

На місці / On the ground: \_\_\_\_\_

Адреса органу з сертифікації / Address of the Certification Body: 03680, Ukraine, Kiev-37, str. 1, Klimenka, 5/2 t. +38 044 249-37-56, ф. +38 044 248 88 02

Свідоцтво №UA.P.061

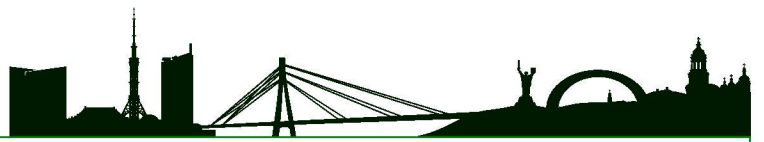
М.П. Stamp

Важливо: перевіряйте актуальність даних записаних в базі даних органу з оцінювання відповідності, на вебсайті [www.niisk.com](http://www.niisk.com)  
Validity of the Certificate of conformity can be checked on the base of data of the conformity assessment body, which is found at [www.niisk.com](http://www.niisk.com)

Рис. 1. Форма бланку сертифіката згідно з технічним регламентом

## ЛІТЕРАТУРА

- 1 Закон України «Про загальну безпечність нехарчової продукції», затверджений 2 грудня 2010 року N 2736-VI, стаття 5.
- 2 Технічний регламент будівельних виробів, будівель та споруд, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006р. №1764.
- 3 Проект Закону України «Про гармонізацію з нормами законодавства Європейського Союзу основних вимог до будівель та споруд, а також спрощення умов для розміщення на ринку будівельних виробів», 2014р.
- 4 Сайт ДП НДІБК [www.niisk.com](http://www.niisk.com).



# ВПЛИВ СКЛАДУ БЕТОНУ НА ДЕФОРМАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В РАННІ ТЕРМІНИ ЙОГО ТВЕРДНЕННЯ

УДК 691.54:693.54

## АВТОРИ

**ШЕЙНІЧ Л.О.**, завідувач відділу, д.т.н. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» м. Київ, Україна

**МИКОЛАЄЦЬ М.Г.**, канд. техн. наук, завідувач лабораторії ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» м. Київ, Україна

**ІОНОВ Д.С.** канд. техн. наук, молодший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» м. Київ, Україна

## АНОТАЦІЯ

*Проведено дослідження особливостей структуроутворення бетону в ранні терміни тверднення. Досліджено вплив якості (зокрема стабільності значень його міцності в ранні терміни тверднення) та витрати в'язучого на тріщиноутворення бетону в ранні терміни його тверднення.*

*Studies of the concrete structure formation in the early stages of hardening are conducted. The influence of the quality (in particular the stability of the value of its strength in the early stages of hardening) and amount of binder for concrete cracking in the early stages of its hardening is studied.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

цементно-піщана модель, деформації, тверднення, тріщиноутворення

На сьогоднішній день, в умовах монолітного будівництва, досить часто практикується формування масивних конструкцій, які мають великі об'єми бетону. Такі конструкції сприяють підвищенню сейсмостійкості. Але в ранні терміни тверднення бетону вони схильні до утворення тріщин в результаті свого розігріву. Тому є актуальною проблема тріщиноутворення бетону на ранніх стадіях тверднення. Факторів, які впливають на цей процес, досить багато: склад бетонної суміші, усадка бетону, зовнішні умови, догляд за бетоном тощо.

Перед початком робіт по бетонуванню конструкції, необхідно мати спеціально розроблений «Проект виконання робіт» або «Технологічний регламент». В документі мають бути чітко встановлені норми та порядок виконання підготовчих робіт, армування конструкції, монтажних робіт, бетонування та догляду за бетоном, враховано умови навколишнього середовища, характерні для даного сезону. Для зниження вірогідності утворення тріщин в ранні терміни тверднення бетону важливим є вибір типу та кількість в'язучого, від чого в подальшому залежить клас бетону та його поведінка в часі. Тому були проведені дослідження, щодо визначення впливу якості цементу, його кількості в бетоні на вірогідність утворення деформацій у ранні строки його тверднення.

Дослідження особливостей структуроутворення в ранні терміни тверднення бетону проводились на модельних цементно-піщаних композиціях різного складу. Необхідність застосу-



Рис. 1. Лінійка з пристроєм автоматичної реєстрації деформацій та форми з цементно-піщаним розчином.

самі, що і в реальному бетоні класу С25/30. Склади цементно-піщаних композицій наведено в табл. 1.

В дослідженнях використовували цемент ПЦ ІІ/А-Ш-400 виробництва «HEIDELBERGCEMENT Україна», який було відібрано з двох різних партій. Для створення безперервної гранулометрії піску останній мав декілька фракцій.

Методика досліджень була наступна. В спеціальну «лінійку» (рис. 1) з досліджуваною довжиною 1 м вкладалась цементно-піщана суміш при співвідношенні цемент:пісок=1:4, що імітувала бетон класу С32/40 (табл. 1). Ця лінійка для заміру показників усадки була обладнана індикатором з автоматичним пристроєм реєстрації. Точність відліку складала 0,01 мм. Деформаційні показники розчину знімалися з моменту укладання розчинової суміші в «лінійку» протягом двох діб. Для встановлення характеристик міцності формувались балочки з цього розчину розміром 40х40х160 мм (рис. 1). Випробовування на міцність проводились у віці 12, 24 і 48 год. Аналогічні дослідження були проведені на цементно-піщаній суміші, але зі співвідношенням

Таблиця 1. Склади модельних цементно-піщаних розчинів

Співвідношення цемент:заповнювач	Компонент	Усього, %	Маса, кг
1:4,5	Цемент ПЦ ІІ А/Ш-400	18,2	2,184
	Пісок висушений 0,2...0,6 мм	17,8	2,136
	Відсів кварцу 0,8...2,0 мм	32	3,840
	Пісок крупний 2,0..8,0 мм	32	3,840
	Витрата: Centrament N3 – 0,6 %, Поліпласт СП-1 – 0,8 %, вода – 954 мм. Заглиблення конуса СтройЦНИЛ в суміш – 3,2 см		
1:4	Цемент ПЦ ІІ А/Ш-400	20	2,400
	Пісок сушений 0,2...0,6 мм	16	1,920
	Відсів кварцу 0,8...2,0 мм	32	3,840
	Пісок крупний 2,0..8,0 мм	32	3,840
	Витрата: Centrament N3 – 0,2%, SR3 Dynamon Марей – 0,9 %, вода – 983 мм. Заглиблення конуса СтройЦНИЛ в суміш – 3,8 см		

Таблиця 2. Міцність цементно-піщаних розчинів в ранні терміни

Співвідношення цемент: пісок	Випробування зразків після виготовлення через, год	Міцність цементно-піщаних зразків з портландцементом ПЦ ІІ/А-Ш-400 виробництва «HEIDELBERGCEMENT Україна»			
		цемент 1 партії		цемент 2 партії	
		на стиск, МПа,	на згин, МПа,	на стиск, МПа,	на згин, МПа,
1:4	12	1,70	0,38	4,03	0,85
	24	13,8	2,6	16,9	3,20
	48	27,31	4,19	30,56	4,59
1:4,5	12	2,7	0,56	2,18	0,6
	24	12,75	0,3	9,9	0,34
	48	26,09	3,86	20,35	3,78

вання цементно-піщаних моделей замість бетонних сумішей обумовлена конструкцією лінійки, за допомогою якої визначалась рання усадка тверднучого матеріалу (рис. 1).

Цементно-піщана модель бетону С32/40 в своєму складі мала співвідношення цемент : заповнювач = 1:4, що відповідало такому співвідношенню в реальному бетоні. Також модель містила однаковий вміст хімічних добавок по відношенню до витрати цементу, що і в реальному бетоні. Інша досліджувана цементно-піщана модель з більшим вмістом заповнювача мала витрату цементу по відношенню до заповнювача 1:4,5, що відповідало вмісту цементу близько 440 кг на 1 м<sup>3</sup> бетону і по співвідношенню цемент : заповнювач наближалась до співвідношення компонентів в бетоні класу С25/30. Витрати хімічних добавок в другій цементно-піщаній моделі були такі ж



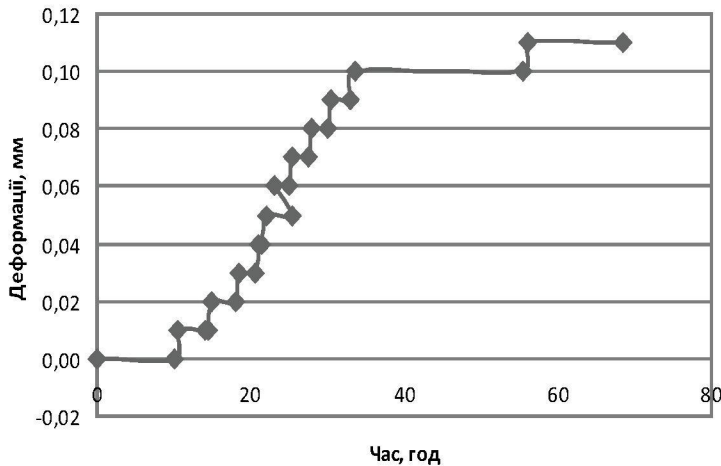
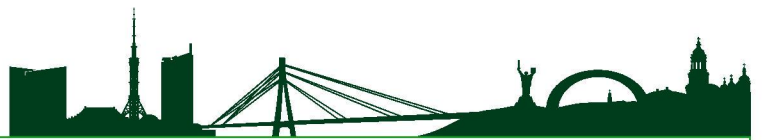


Рис. 2. Деформації цементно-піщаного розчину складу цемент:заповнювач = 1 : 4,5

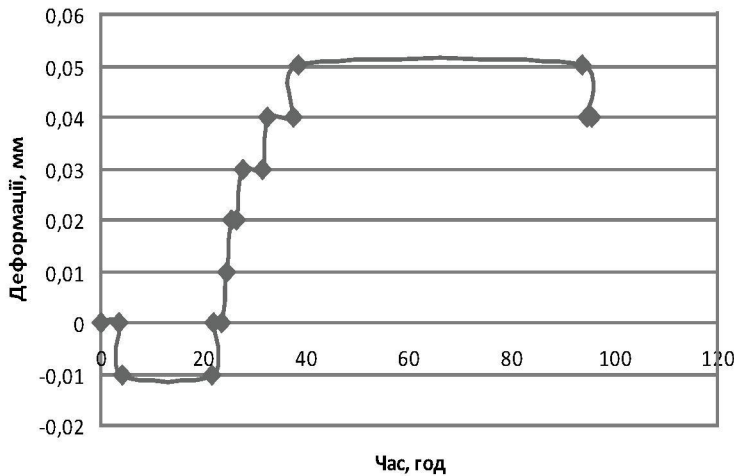


Рис. 3. Деформації цементно-піщаного розчину складу цемент : заповнювач = 1 : 4.

(можливість тріщиноутворення) в ранні терміни тверднення реального бетону в реальних умовах будівництва.

Також, були побудовані криві деформацій цементно-піщаних розчинів. Результати досліджень наведено на рис. 2 та рис. 3.

Аналіз деформацій цементно-піщаних розчинів в ранні терміни їх тверднення вказує, що цементно-піщаний розчин, що імітує бетон С32/40 має в перші 20 год. тверднення усадки, а цементно-піщаний розчин, що близький по відношенню цемент:заповнювач до бетону С25/30 усадки практично немає. Таким чином, бетони з високою міцністю і, відповідно, з більшою витратою цементу більш уразливі на ранніх стадіях тверднення до тріщиноутворення, ніж бетони з нижчим класом міцності.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що тріщиноутворення бетону в ранні терміни тверднення, при рівних інших чинниках, залежить від якості цементу (зокрема стабільності значень його міцності в ранні терміни тверднення) та витрати в'язучого на 1м<sup>3</sup> бетону. Тобто високоміцні бетони більш уразливі до тріщиноутворення в ранні терміни тверднення, ніж бетони з нижчою міцністю, що необхідно враховувати при проектуванні бетонування конструкцій великої площі, наприклад плит перекриття.

цемент : пісок = 1 : 4,5, що наближалось до імітації бетону класу С25/30 (табл. 1).

Результати досліджень міцності бетонів двох складів, на двох різних партіях цементу наведено в табл. 2.

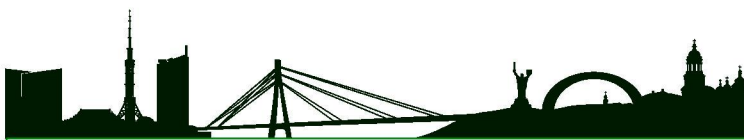
В результаті аналізу отриманих даних можна відмітити, що характеристики міцності розчинових балочок, що були випробувані в одні терміни, з одного цементу, але з різних його партій, в ранні терміни тверднення мають значну розбіжність, але з часом ця розбіжність зменшується. Більш того, в віці 28 діб розчини одного складу мають один клас міцності. Це свідчить про нестабільність швидкості набору міцності даного цементу в ранні терміни тверднення.

Так, з даних табл.2 слідує, що міцність на згин бетону в перші 12 год тверднення може коливатися в 2 рази для різних партій цементу. Із збільшенням витрати заповнювачів це коливання зменшується.

Ця нестабільність його якості повинна сильно впливати на процес структуроутворення

## ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельно призначення. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46:2010. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 14 с.
2. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу: ДСТУ Б В.2.7-215:2009. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 14 с.
3. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості: ДСТУ Б В.2.7-216:2009. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 24 с.
4. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності: ДСТУ Б В.2.7-224:2009. - К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 14 с.



# О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

УДК 691 : 519.24

## АВТОР

**ЛЯШЕНКО Т.В.** д-р техн. наук, профессор  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## АННОТАЦИЯ

*Представлена классификация математических моделей строительного материаловедения с точки зрения их генезиса и связей с компьютерными технологиями. Подчеркивается важность взаимодействия экспериментального подхода с компьютерными методами и роль экспериментально-статистических моделей. Рассматриваются возможности совместного использования моделей разных типов, развиваемые компьютерным материаловедением. Выделены основные положения методологии рецептурно-технологических полей.*

*Classification of mathematical models in building materials science from position on their geneses and on connections with computer technologies is presented. Underlined are the importance of interaction of experimental approach with computational methods and the role of experimental-statistical models. The potentials of joint use of the models of different types are considered, which could be developed by computational materials science. The basics of composition-process fields methodology are pointed out.*

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

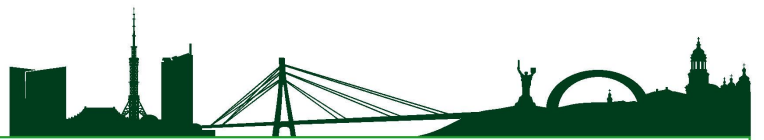
композиционный материал, проектирование качества, экспериментально-статистическая модель, вычислительный эксперимент, компьютерное материаловедение, рецептурно-технологическое поле.

## ВВЕДЕНИЕ

В декларации комитета RILEM «Numerical modeling of cement-based materials» (ТС 244-NUM) справедливо отмечено, что, несмотря на давнюю историю моделей и моделирования, компьютерные технологии открыли беспрецедентные возможности для их развития и применения в науке о материалах и в стройиндустрии. Это стало понятным уже в начале 90-х, о чем напоминает и данная статья. Ее цель – представить имеющуюся классификацию математических моделей строительного материаловедения с позиций их включения в компьютерное материаловедение – продиктована наблюдаемым ожидаемым всплеском «интереса» к моделям. Этот новый всплеск в значительной степени обусловлен следующим.

Большинство исследований в современном строительном материаловедении направлено на создание высококачественных композиционных материалов, наилучшим образом отвечающих своему назначению. В этом смысле их стали называть высокофункциональными [1]. К таким материалам можно отнести и высокопрочный бетон для конструкций моста, и быстротвердеющий раствор низкой прочности для кратковременного закрепления породы.

Назначение диктует комплекс требований к критериям качества материала на разных этапах его жизни: к характеристикам структуры, технологическим и эксплуатационным свойствам; к критериям стойкости, уровень которых определяет время службы при работе в агрессивных, низко- и высокотемпературных средах; к надежности, гарантированности свойств в системах, отказ которых приводит к недопустимым последствиям; к экологическим критериям «чистоты» технологии, утилизации отходов, ресурсосбережения и др. Концепция устойчивого развития выдвигает, в частности, требования по обеспечению долговечности бетонов. Это позволило бы сократить выбросы CO<sub>2</sub> от производства цемента, уменьшить нагрузку на исчезающие источники природных заполнителей, смягчить проблему вывоза бетона



разрушенных конструкций, снизить расходы на ремонт [1].

Современные производители вынуждены создавать новые высоко технологичные продукты в рекордные сроки, повышая при этом и их качество, и эффективность процессов, в узком и широком смысле. Последнее означает, что хотя увеличение долговечности достигается, как правило, за счет высокой «начальной» стоимости собственно материала, это может снизить затраты «в целом», оказаться эффективным для включающей материал системы. Такой высококачественный материал оказывается конкурентоспособным.

При этом подразумевается эффективность всей жизни материала, «от рождения до смерти» (от идеи, через исследование, конструирование и производство, при эксплуатации и деградации, до утилизации). Это соответствует современной философии качества – гарантировать качество, строя его с самого начала жизни продукта, с замысла, проекта. Принцип обеспеченности качества представляет компромисс, смягчает противоречие между тенденцией улучшения качества жизни людей и необходимостью экономить ресурсы.

Проектирование качества (Quality by Design, QbD) означает, что качество должно быть заложено в продукт при его разработке. Для последующего воплощения должны быть назначены такие параметры состава и процесса производства композиционного материала, которые обеспечат требуемые или улучшенные свойства, включая устойчивость и надежность, и как следствие, максимальную эффективность его применения.

Разрабатываемые материалы – сложные, гетерогенные, многокомпонентные системы. Само понятие «композит» указывает на принципиальную возможность найти рецептурные решения, которые бы удовлетворяли требованиям, выдвигаемым тем или иным назначением. Реализовать такую возможность помогает увеличение числа компонентов, ставшее тенденцией, «магистральным направлением» в разработках строительных композитов. Это многокомпонентные вяжущие системы, комплексные модификаторы, включающие десятки химических добавок и активных минеральных компонентов разной дисперсности, модифицированные полимерные связующие, полифракционные наполнители и заполнители, гибридные волокнистые наполнители и другие многокомпонентные компоненты многокомпонентных систем, в частности, таких как полимерминеральные сухие смеси. Характерна «вложенная» многокомпонентность. Увеличение количества компонентов и их подсистем – своего рода вызов строительному материаловедению, которому приходится анализировать и выбирать рецептурно-технологические решения из необозримого многообразия вариантов.

При разработке любых многокомпонентных композиций (на минеральных или органических связующих, твердеющих естественно или при тепловой обработке, конструкционных или отде-

лочных и т. д.) приходится решать проблемы количественного анализа и обеспечения свойств на разных стадиях существования материала (свойств смеси, характеристик формирующейся структуры, функциональных свойств композита), в их связи с многокомпонентным составом и параметрами процессов.

Параметры рецептуры и технологии (включая условия эксплуатации), уровни которых можно назначить, зафиксировать, составляют вектор рецептурно-технологических (РТ) факторов  $x=(x_1, \dots, x_k)$ . Критерии качества  $Y$  – технологические и структурные характеристики материала на разных стадиях, эксплуатационные свойства и любые другие отклики<sup>1</sup> на изменения управляемых входов  $x$  могут быть обобщенно названы свойствами.

Схема на рис. 1 подчеркивает природу случайных величин  $Y$ , характеризующих реакцию структуры материала на управляемые воздействия  $x$  и в силу этого представляющих информационную базу для формирования желаемых структур за счет тех или иных значений РТ-факторов.

Очевидно, что для количественного анализа связей между факторами  $x$  и критериями  $Y$  и для «закладки качества в проект» (для назначения состава и режимов, которые обеспечат заданные или



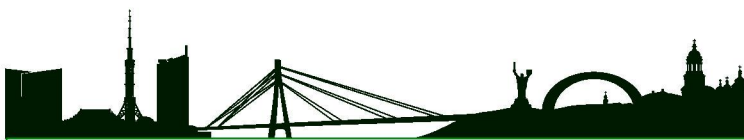
Рис. 1. Схематическое изображение связей при рассмотрении цепи «рецептура, технология → структура → свойства».

улучшенные уровни комплекса свойств) необходимы математические модели этих связей. По таким моделям могут решаться и прямые задачи материаловедения (прогноза, оценки  $Y$ ), и обратные задачи (проектирования, определения допустимых и лучших  $x$ ) [2].

## ТИПОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ (по В.А. Вознесенскому)

Математические модели – неотъемлемые составляющие этой мультидисциплинарной отрасли науки, на всех уровнях рассмотрения материала (от атомно-молекулярного до материала в конструкции); сформирована их типизация [3-5]. Выде-

<sup>1</sup> Среди них могут быть и стоимостные критерии.



лены следующие пять типов различных по своей природе моделей ( $M_1$ - $M_5$ ), ориентированных на те или иные цели моделирования, в той или иной степени связанных с использованием компьютерных средств.

**1. Основные на фундаментальных законах уравнения математической физики (УМФ)**, описывающие процессы тепломассообмена и структурообразования в дисперсных системах, течение жидкостей, напряженно-деформированное состояние материала... Особенности и проблемы их применения в материаловедении, как подчеркивают Б.В. Гусев и А.С. Файвусович [6], заключаются в том, что приходится описывать совокупности многостадийных последовательных и параллельных физических и химических процессов, используя законы и зависимости разных научных дисциплин, учитывая структурные особенности среды и др. Компьютеры нужны, прежде всего, для решения численными методами формулируемых затем краевых задач. Важные для анализа механизмов структурообразования и деструкции, обобщенно характеризуя материалы того или иного класса, УМФ не выражают связей свойств с многокомпонентным составом, знание которых необходимо для конструирования (синтеза) конкретных материалов конкретного назначения.

**2. Концептуальные модели**, основанные на идеализированных (механических, физико-химических ...) представлениях о материале. Такую модель сначала выражают вербально, как в примере [3-4] с реологическим телом Максвелла: «пусть тело состоит из пружины и поршня, движущегося внутри вязкой жидкости». Далее модель описывается аналитически дифференциальными (модель Максвелла) или алгебраическими уравнениями (распределение напряжений в образце, представленном системой конечных элементов), геометрическими соотношениями (укладка зерен шаров в объеме), кинетическими уравнениями (устойчивость свобододисперсных систем). К этому типу относятся и формулы традиционных расчетов состава бетона (включаемые в компьютерные системы проектирования составов), модели гидратации цемента и структурообразования наполненных полимеров, коррозии цементных и деградации полимерных композитов и т.д. В концептуальном основании таких математических моделей заложено и их преимущество – «физическая» интерпретируемость, и недостаток – может быть корректно описана символически далекая от реальности концепция. Следует подчеркнуть, что подразумевается экспериментальное определение входящих в математические выражения коэффициентов (вязкости жидкости, модуля упругости и т. д.) – констант, относящихся к фиксированному рецептуре и режимам, но не зависимостей от них. В концептуальных моделях свойства материала не связаны непосредственно с многокомпонентным составом.

**3. Экспериментально-статистические модели, ЭС-модели** [3-4, 7-8] – математические описания именно связей между факторами  $x$  и критерия-

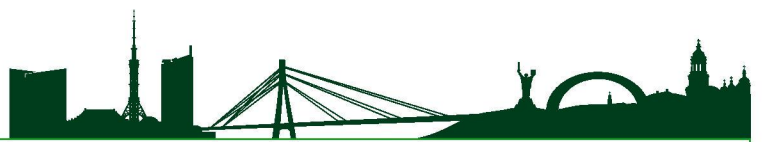
ми  $Y$ , как правило, в виде полиномов, построенные по результатам спланированного эксперимента. О назначении, содержании и истории экспериментально-статистического моделирования (ЭСМ) рассказывается в работе [6, с. 50]. Использование нормализованных безразмерных переменных  $x_i$  (чаще всего  $-1 \leq x_i \leq +1$ ) вместо натуральных именованных величин  $X_i$  (варьируемых в диапазонах  $X_{i,\min} \leq X_i \leq X_{i,\max}$ ) обеспечивает четкий физический смысл коэффициентам полиномиальной ЭС-модели, имеющим размерность критерия  $Y$ , а также приемлемые ошибки вычислений. Между тем, применяемые довольно часто модели с измеряемыми на разных шкалах «натуральными факторами», как правило, невозможно интерпретировать, а ошибки могут оказаться неприемлемыми, что дискредитирует ЭСМ.

ЭС-модели неизбежно приходится использовать как зависимости  $Y(x)$  при разработке эффективных материалов в конкретных условиях их создания и эксплуатации, когда уровни РТ-факторов можно назначать в определенных диапазонах значений. Поэтому ЭСМ широко применяется в разработках практически любых строительных композитов, имеет достаточно развитое и универсальное методическое обеспечение, ориентированное на инженеров-экспериментаторов<sup>2</sup>, осуществляется с помощью специальных и стандартных компьютерных средств. Построенные по данным натуральных экспериментов ЭС-модели можно использовать для извлечения скрытой в этих данных информации – выполняя вычислительные эксперименты (ВЭ), в которых комплексы моделей имитируют свойства любых композиций в исследуемых диапазонах значений РТ-факторов [5 и др.].

Конечно, полиномиальная форма не способствует объяснению механизмов поведения материала, выводам и прогнозам общего характера по ЭС-моделям. При этом теряется спрятанное в них «богатство реальности» и то знание, которое потенциально они могут содержать. Снизить потери, более полно извлечь свернутую в ЭС-моделях информацию о материале может помочь структурирование системы РТ-факторов – выделение их подсистем в соответствии с природой, характером, степенью их влияния на свойства – и использование соответствующих структурированных ЭС-моделей [6, с. 69].

Важно, что среди критериев  $Y$ , зависимости которых от  $x$  описываются ЭС-моделями, могут быть коэффициенты-константы фундаментальных уравнений и концептуальных моделей [5]. Примеры такой инкорпорации моделей [9-10] – зависимости параметров реологических уравнений и других характеристик реологических кривых от состава технологических смесей. Так, параметры  $K$  и  $m$  модели Оствальда-Вияля для вязкости фиброполимерцементных композиций в зависимости от скорости сдвига,  $\eta_y = K m v$  (где  $K$  – вязкость  $\eta_1$  при единичной скорости,  $m$  – темп разрушения), могут быть выражены (1-2) функциями состава; в пояснениях к (2)  $V$ ,  $MC$  и  $F$  – дозировки Виннапас, метилцеллюлозы и полипропиленовой фибры,  $MMS$

<sup>2</sup> ЭСМ посвящена большая часть учебника [4] для студентов вузов, обучающихся по специальности «производство строительных изделий и конструкций».



- молекулярная масса метилцеллюлозы.

$$\ln \eta_T(x) = \ln \eta_1(x) + m(x) \cdot \ln \gamma' \quad (1)$$

$$\ln \eta_1(x) = 4.06 + \begin{matrix} + 0.70x_1 - 0.41x_1^2 & + 0.25x_1x_2 \\ - 0.09x_2 - 0.20x_2^2 \pm 0 x_2x_3 & - 0.05x_1x_3 \\ + 0.13x_3 \pm 0 x_3^2 & + 0.11x_1x_4 \\ + 0.17x_4 \pm 0 x_4^2 & \pm 0 x_2x_4 \\ & - 0.16x_3x_4 \end{matrix} \quad (2)$$

Эффекты Виннапаса при средних ММС, МС, F  
Эффекты метилцеллюлозы при средних V и F  
Уровень при средних V, ММС, МС, F  
Эффекты фибры при средних V, ММС, МС  
Синергизм

**4. Модели исследования операций** (характерные для технико-экономических задач: сетевого планирования, распределения ресурсов, выбора маршрута и т.д.). Как отмечал В.А. Вознесенский, «в силу нетривиальности аналогий», эти модели остаются пока «весьма экзотическими» для строительного материаловедения. В книгах [3-4] приводится пример: фильтрация жидкости в бетоне, рассматриваемая как движение через сеть случайной конфигурации с запертыми узлами<sup>3</sup>.

**5. Имитационные модели**, для выполняемых на компьютерах вычислительных экспериментов. При этом, как правило, применяют метод Монте-Карло – метод статистических испытаний, суть которого в генерации случайных реализаций изучаемых ситуаций по их моделям<sup>4</sup>. В структурно-имитационных моделях (СИМ) структура материала «собирается» из множества случайно распределенных элементов (представляющих частицы, зерна, волокна, трещины, поры – «структурные неоднородности») с заданными (фиксированными или случайно распределенными) свойствами, размером, формой [4]. Модель флуктуирует, подобно реальной структуре в натурном эксперименте. Исследуются развитие трещин, поверхности разрушения и деформации в бетоне (Wittmann F.H., Зайцев Ю.В., Mechtcherine V.), процессы гидратации и пористость (Bentz D.P., Stroeven P.), радиационные потоки и электрофизические свойства (Воробьев В.А. Илюхин А.В.), свойства бетонной смеси (Dewar J.D.). В многофакторных ситуациях для выделения главных факторов, влияющих на критерии поведения материала, для классификации по этим критериям или прогнозирования их уровней могут быть применены искусственные нейронные сети (Wittmann F.H., Kasperkiewicz J., Buenfeld N.R., Гальберштам Н.М., Торсу I.B.); получаемые результаты идентичны результатам множественной регрессии.

Известны «структурно-функциональные» модели изменений в составе, структуре и свойствах композитов гидратационного твердения, на ранних стадиях структурообразования (Brouwers H.J.H., Bentz D.P. и др.) и в процессе длительного воздействия среды (F.H. Wittmann F.H., Roelfstra,

Р.Е., Sadouki H., Чернявский В.А., Дубницкий В.Ю.). Программное обеспечение ВЭ с имитационными моделями, в частности в NIST (National Institute of Standards and Technology, USA), до недавнего времени можно было считать эксклюзивным.

Модели структур сами по себе не дают возможности оценивать уровни проектируемых эксплуатационных свойств. Для этого, в конце концов, привлекают концептуальные модели – системы конечных элементов, формулы расчета прочности с эмпирическими коэффициентами и др., а также регрессионные модели. О возможном наборе моделей в компьютерных исследованиях материалов говорит приведенный в статье [11] список доступных программ для моделирования, разработанных в NIST. Используют последовательное моделирование: модели структур геля гидросиликата кальция (уровень нанометра), цементной пасты (уровень микрометра), раствора или бетона (уровень миллиметра); вычисления на нижнем структурном уровне определяют входные свойства для симуляции структуры следующего более высокого уровня (Bentz D.P., Garbocz E.J., Комохов П.Г., Харитонов А.М.).

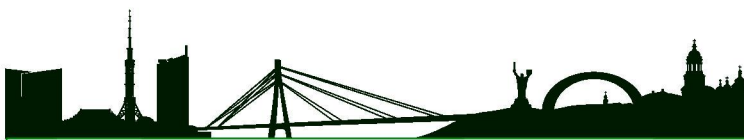
Перспективы СИМ, в том числе, для решения проблем многокомпонентности – в объединении с моделями других типов. Есть примеры последовательного использования моделей разных типов в исследованиях строительных материалов. Так, изучая диффузионные свойства цементных паст, E. Garbocz и D. Bentz (1992) с помощью модели случайного роста генерировали их микроструктуру, которую затем рассматривали как случайную сеть; коэффициенты диффузии  $D$  определялись, для разных В/Ц и степени гидратации, по аналитической модели – зависимости Нернста-Эйнштейна, связывающей  $D$  с электропроводностью. В работах В.И. Кондращенко сочетания СИМ, УМФ и ЭС-моделей применены в исследованиях бетонов на плотных и пористых заполнителях, древесно-полимерных композитов и биопластиков, в том числе, с учетом уровня «материал-конструкция»<sup>5</sup>.

Для разработок эффективных композитов на основе фундаментальных закономерностей и накопленных знаний перспективно синтетическое (мультипликативное) моделирование [5, 9-10]. Важно, что таким образом для коэффициентов («констант») УМФ и концептуальных моделей, а также для оценок по имитационным моделям могли бы быть определены их зависимости от факторов рецептуры и технологии – в виде ЭС-моделей, в частности таких, как уравнение (2). Другой пример (В.Т. Ерофеев и др., Мордовский ГУ) – «планирование ВЭ, с варьированием факторов состава – численное моделирование на основе метода конечных элементов – ЭС-модели влияния факторов состава на компоненты напряженно-деформированного состояния».

<sup>3</sup> Подвальный А.М., Проценко А.М. Исследование проницаемости бетона на математических моделях // Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии / НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 149-157.

<sup>4</sup> В современном понимании термин «метод Монте-Карло» относится к любой имитации с участием случайных чисел (Murdoch D.J. Markov Chain Monte Carlo // Chance, V. 13, No. 4, 2000. – P. 48-51).

<sup>5</sup> Кондращенко В.И. Оптимизация составов и технологических параметров получения изделий брускового типа методами компьютерного материаловедения: Автореф. дис. д.т.н.: 05.23.05 / МГУПС (МИИТ). – М., 2005. – 48 с.



## О КОМПЬЮТЕРНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Компьютерные технологии открыли возможности для совместного использования, объединения моделей разного масштабного уровня, разного моделирования, записанных на разных математических языках. В конце 1992 г. начал выходить международный журнал *Computational Materials Science* (ISSN 0937-0256)<sup>6</sup>. Год его основания В.А. Вознесенский предложил [5] считать началом отсчета для этого научного направления, нацеленного на решение проблем материаловедения как такового. Любопытно, что именно в 1992 г. впервые в заголовках публикации по стройматериалам на русском языке (см. библиографию в [12]) он вынес название компьютерное материаловедение (КМВ).

Тогда же осмысливались специфические задачи нового направления в содружестве занятых в материаловедении дисциплин и место ЭС-моделей в КМВ, среди моделей разных типов. Была разработана приведенная ниже схема взаимосвязей элементов КМВ, отражающая, с одной стороны, концепцию объединения экспериментального и вычислительного подходов в исследованиях и разработках материалов, с другой – необходимость соединять описания поведения материала в конкретных рецептурно-технологических условиях с накопленными мультидисциплинарными знаниями. Синтетическое по своей сути КМВ, могло бы инкорпорировать модели разных уровней структуры, любой генерации, реализовывать ВЭ на моделях, наполняя базы данных и базы знаний о материалах для экспертных систем.

Возможности взаимообогащения подходов и методического скачка на этой основе важны для ЭС-моделирования. Его принцип, извлечение максимума информации из данных эксперимента [6, с. 69; 13], согласуется с целью журнала, продекларированной в редакционном заявлении, суть которой – усилить связь между экспериментальной и вычислительной составляющими исследования. Компьютерное материаловедение призвано развивать экспериментальные исследования во взаимосвязи с компьютерными технологиями [5].

Е.Ј. Garbotczі вспоминает [11]<sup>7</sup>, что примерно в 1990-ом начал использовать термин «компьютерное материаловедение бетона», которое сейчас, как он считает, стало жизнеспособной дисциплиной, собирающей многоуровневый набор моделей для такого многоуровневого материала как бетон, начинающей преодолевать разрыв между фундаментальными принципами и практическими приложениями. Этому способствовали электрон-

ная образовательная монография *Modeling and Measuring the Structure and Properties of Cement-Based Materials*, проект *Virtual Cement and Concrete Testing Laboratory, Computer Integrated Knowledge System for High Performance Concrete* и другие работы<sup>8</sup>. Однако, создатель компьютерных моделей гидратации тоже приходит к пониманию [11], что для преодоления этого разрыва в науке о материалах необходимо объединять экспериментальный и вычислительный подходы и упоминает, что эта идея стала движущей силой для Инициативы генома материалов (*Materials Genome Initiative*).

В.А. Вознесенский отмечал, в частности в [5], что при разработке конкурентоспособных материалов для строительной отрасли необходимость в методах компьютерного материаловедения возникает, когда решение не может быть получено в прямом физическом эксперименте или вне компьютерной технологии без больших затрат материальных ресурсов и (или) времени. Вопросы компьютерного строительного материаловедения (КСМВ) с 1993 по 2008 г. обсуждались на ежегодных международных семинарах по моделированию и оптимизации композитов (МОК, Одесса). Им было посвящено Приложение [14] к журналу *Строительные материалы* (ISSN 0585-430X, Москва).

Наиболее эффективным и распространенным моделированием в задачах разработки конкретных материалов, принципиально способным иметь дело с многокомпонентными составами [3-4; 6 с. 69; 13 и др.] и подготовленным к включению в КСМВ, оказалось ЭСМ. Предполагается, что «простые» ЭС-модели строятся на основе «лучшей» возможной информации – на априорных физико-химических знаниях и результатах спланированного, рационального эксперимента. Планирование эксперимента – не только формализованный способ максимизировать количество получаемой информации при ограниченных ресурсах, позволяющий охарактеризовать и индивидуальное, и совместное влияние РГ-факторов  $x$  на отклики  $Y$ . Это философия и логика исследования<sup>9</sup>, стержень стратегии эксперимента [7]. Неформализованным остается «предпланирование» [7] – базирующиеся на системном подходе постановка проблемы и выбор вида математической модели, включая область независимых переменных  $x$  (факторную область).

Однако, задачи строительного материаловедения в «эру многокомпонентности» потребовали создания новой методологии исследований и проектирования высококачественных композиционных материалов. Чтобы справиться с многомерностью задач и «сократить расстояние» между сложностью объектов и используемыми для их описания

<sup>6</sup> Содержание первых номеров, за 1992-93, проанализировано в Материалах международного семинара по моделированию и оптимизации композитов МОК'35. – Одесса, 1996.

<sup>7</sup> В статье он приводит ссылку на работу, в которой опубликована первая компьютерная модель гидратации цемента: Frohnsdorff G., Fryer W.G., Johnson P.D. The mathematical simulation of chemical, physical, and mechanical changes accompanying the hydration of cement. Supplementary Paper II-44 at the 5th Int. Symp. of the Chemistry of Cement, Tokyo, 1968.

<sup>8</sup> [http://concrete.nist.gov/monograph\\_ciks.cbt.nist.gov/~bentz/phpct/cmml.html](http://concrete.nist.gov/monograph_ciks.cbt.nist.gov/~bentz/phpct/cmml.html), [ciks.cbt.nist.gov/~bentz/](http://ciks.cbt.nist.gov/~bentz/)

<sup>9</sup> Из книги В.В. Налимова и Т.И. Голиковой [15]: «...результаты изучения механизмов явлений следует представлять не одной, а множеством моделей». «Математическая модель – это вопрос, который исследователь задает природе». «Искусство моделирования в значительной степени определяется тем чувством меры, которое помогает уравновешивать знания с тем, что хочется узнать». «Планирование эксперимента – это раздел знаний, относящийся не только и не столько к математической статистике, сколько к логике».



простыми полиномиальными моделями, чтобы «увеличить совместимость моделей материаловедения и инженерной практики», потребовались новые представления и методы, предусматривающие включение ЭС-моделирования в КСМВ [5, 13]. Для превращения количественных оценок, получаемых по ЭС-моделям, в знания, для того, чтобы задачи вычислительных экспериментов ставились, а результаты интерпретировались в терминах материаловедения, нужно было, чтобы ВЭ (на любых моделях) получил общую физическую основу, некоторое универсальное, общенаучное мета-представление.

## РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Такая метамодель как поле физической величины в трехмерном пространстве соответствует еще более общему математическому понятию поля величины  $Y$ , которое определяется как функция точки  $x$  в области  $\Omega_x$  многомерного пространства, т.е. как совокупность значений  $Y$  для всех возможных значений  $x$ . Это позволяет рассматривать совокупности возможных уровней свойств материала – значений критериев  $Y$  при всех возможных значениях РТ-факторов как поля свойств материала в координатах состава, параметров процессов производства и эксплуатации (а также в координатах изделия) [5; 6, с. 69; 8; 13-14]<sup>10</sup>.

Понятие рецептурно-технологического поля (РТП) открыло для строительного материаловедения ряд возможностей.

- Поле  $Y(x)$  соединяет многообразие «воздействий» РТ-факторов на материал с результатами этих воздействий (уровнями любых критериев качества) и служит аналогом материала в исследованиях и проектировании отдельных сторон его поведения. Для описания РТП в принципе могут быть предложены любые модели.
- По ЭС-моделям для анализа связей РТ-факторов и свойств из полного поля (в области всех рассматриваемых факторов) можно выделить локальные поля, с областями той же и меньшей размерности, любой конфигурации. Поля разных свойств и локальные поля одного свойства (а не символичные структуры – формулы и их «куски») можно сравнивать, используя в качестве мер сравнения числовые характеристики, имеющие ясный физический смысл. Это минимальный и максимальный уровни поля и их координаты, перепад, градиент, уровни поля в любых интересующих материалововеда особых точках

и расстояния между ними, площади (объемы) особых зон и другие обобщающие показатели полей ( $G$ , от generalising).

- Таким образом, понятие РТП (вместе с общенаучными понятиями градиента, поверхности равного потенциала и т.д.), соединяя наддисциплинарный язык описания мультидисциплинарных объектов строительного материаловедения с языками отдельных дисциплин, может служить элементом языка междисциплинарного.
- Появилась возможность проанализировать, как локальные поля, в координатах части РТ-факторов, могут изменяться под влиянием других факторов. При этом удобно использовать графические отображения, в частности, однофакторные кривые в зоне экстремумов [8 и др.], «карты полей», с изолиниями и особыми точками (максимального и минимального уровня поля и др.), позволяющие визуализировать связи факторов и свойств (рис. 2). Изменяющимся локальным полям более других соответствуют упомянутые выше структурированные формы ЭС-моделей [6, с.69, 8, 13]. При необходимости исследовать многокомпонентные системы, принцип структурирования как прием «борьбы с размерностью» открывает разнообразные возможности для

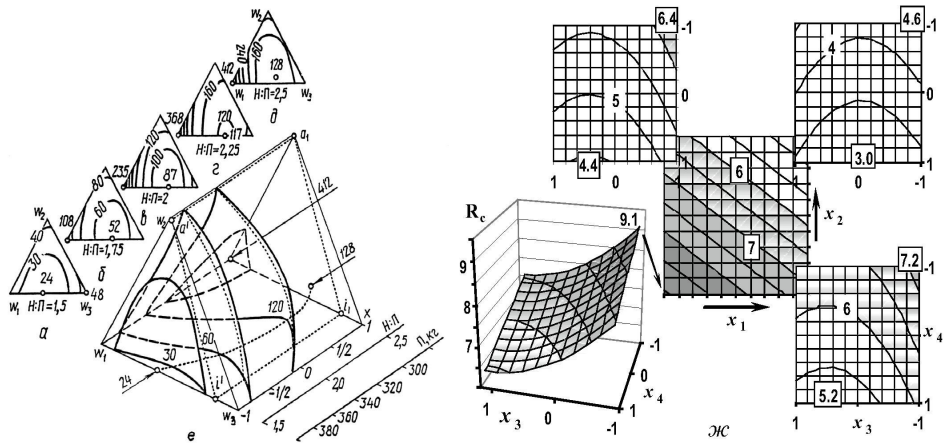


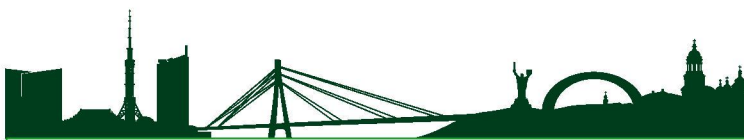
Рис. 2. Примеры визуализации рецептурных полей:

- слева: локальные поля «зерновой состав наполнителя – вязкость» при разных степенях наполнения полиэфирного связующего (а-д) и поле «зерновой состав, степень наполнения – вязкость» (е), из книги [3], где локальное поле называлось «информационным элементом» (инженерный результат данной визуализации – экономия смолы без ухудшения свойств);
- справа: поля прочности  $R_c$  гипсового композита в координатах дозировок добавок ( $x_3, x_4$ ) в вершинах квадрата ( $x_1, x_2 = \pm 1$ ) содержаниями зольных микросфер и перлита, а также максимум  $R_c(x_3, x_4)$  в зависимости от  $x_1$  и  $x_2$  на несущем квадрате (ж).

анализа и визуализации результатов.

- РТ-поля представляют материал в вычислительных экспериментах. В тандеме с методом Монте-Карло ЭС-модели могут имитировать результаты натуральных экспериментов, оценивая уровни свойств для любых вариантов рецептур и параметров процессов в описываемых моделями диапазонах, с учетом ри-

<sup>10</sup> Понятие поля величины в геометрических координатах распространено на свойства материала в  $k$  РТ-координатах (иных по существу при принципиально не ограниченном увеличении их числа).



ска моделирования, ошибок эксперимента и дисперсии предсказания моделей [5, 14]. При этом заданные ЭС-моделями детерминированные поля превращают в случайные. Многократные случайные реализации полей дают информацию о распределениях оценок их обобщающих показателей и взаимосвязей свойств, позволяя учитывать гарантированные уровни этих показателей. Цель компьютерных экспериментов – извлечь из моделей, построенных по реальным экспериментальным данным, свернутую в них и напрямую недоступную информацию о связях рецептуры, технологии, структуры и свойств материалов. Итерационное случайное сканирование РТ-полей позволяет в многокритериальной ситуации определить гарантированно допустимые, оптимальные и компромиссно оптимальные составы и параметры процессов [5, 16-17].

Схема на рис. 3 [5, 12] содержит блоки, формирующие методологию исследований и конструиро-

вания многокомпонентных строительных композитов, направленную на получение нового знания, ресурсосбережение, обеспечение эффективности процессов и качества продуктов.

Задачи, которые позволяет решать методология рецептурно-технологических полей, многомерны – и по набору РТ-факторов  $x$ , должным образом обеспечить выполнение требований к свойствам (критериям)  $Y$ , и по набору свойств, и по числу связей между ними. При этом предполагается, что не только структура и свойства материала должны быть оптимальными, но и процессы его разработки и изготовления [3, 7].

Методология РТ-полей рассматривает оптимальность материала как

- достигаемое за счет состава и параметров процессов соответствие лучшему уровню конкретного критерия или компромиссу нескольких критериев, выдвигаемым научной идеей или практическим заказом (при выполнении требований к другим критериям);
- это соответствие оценивается с целесообразной

точностью, опираясь на известные закономерности, по данным оптимального эксперимента, с помощью моделей, позволяющих наиболее полно извлечь из данных информацию о материале.



Рис. 3. Схема включения концепции полей свойств и ЭС-моделей в компьютерное строительное материаловедение.

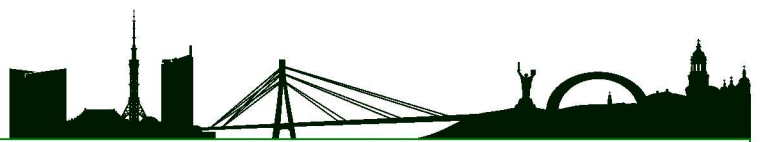
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соединение возможностей разных математических моделей, обеспечение взаимодействия экспериментального и вычислительного подходов к получению данных и знаний о материалах – миссия компьютерного строительного материаловедения.

В набор его средств входит методология рецептурно-технологических полей. Ее особенности определяют:

- идеологическая установка – оптимальность материала;
- ключевая концепция – рецептурно-технологические поля свойств;
- информационная база – планируемый многофакторный натурный эксперимент;
- основная форма обобщения данных – структурированная ЭС-модель;
- способ извлечения новой информации (вторичной) – вычислительный эксперимент.





## ЛИТЕРАТУРА

1. Mindes S. High performance concrete: where do we go from here? / Mindes S. // *Brittle Matrix Composites 8*. – Cambridge: Woodhead Publ. Ltd. - Warsaw: ZTUREK RSI, 2006. - P. 15-23.
2. Вознесенский В.А. Некоторые обратные задачи компьютерного строительного материаловедения / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Гаврилюк В.П. // *Сучасні будівельні матеріали: Вісник Донб. НАБА*, 2010-5(85). – Макіївка, 2010. – С. 33-38.
3. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / [В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов]. – К.: Будівельник, 1989. – 240 с.
4. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. – К.: Вища школа, 1989. – 328с.
5. Вознесенский В.А. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.
6. Моделирование и оптимизация композитов = Modelling and Optimisation of composites. Мат-лы межд. сем. МОК (МОС). – Одесса: Астропринт, 2014. – 264 с. <http://frabul16.wix.com/dvoe/voznensensky>
7. Современные методы оптимизации композиционных материалов / под ред. В.А. Вознесенского. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с.
8. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств композиционных материалов на основе щелочных вяжущих систем / науч. ред. В.А. Вознесенский, П.В. Кривенко. – ОГАСА, НИИВМ им. В.Д. Глуховского. – К., 1996. – 105 с. [www.frabul16.wix.com/dvoe/publications](http://www.frabul16.wix.com/dvoe/publications)
9. Москалева К.М. Оценка структурообразующей роли компонентов полимерминеральных смесей как неньютоновских жидкостей по разностям логарифмических функций вязкости / Москалева К.М., Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. // *Сучасні будівельні матеріали. Вісник Донб. НАБА*, 2012-1(93). – Макіївка, 2012. – С. 3-12.
10. Lyashenko T. Modelling the influence of composition on rheological parameters and mechanical properties of fibre reinforced polymer-cement mortars / Lyashenko T., Kryukovskaya S. // *Brittle Matrix Composites 10*. – Cambridge: Woodhead Publ. Ltd. - Warsaw: IFTR, 2012. – P. 169-178.
11. Garbotci E.J. The computational materials science of concrete: Past, present and future / Garbotci E.J. // *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 92. - No. 4, 2013. – P. 40-45.
12. Вознесенский В.А. Компьютерное материаловедение, экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация композиционных строительных материалов / Вознесенский В.А. // *Строительство в России: прогресс науки и техники*. – М.: Инженерная академия РФ, 1993. – №1. – С. 98-101.
13. Voznesensky V.A. Experimental-statistical modeling in computational materials science / Voznesensky V.A., Lyashenko T.V. // *Proc. 3rd Int. Applied Statistics in Industry Conf.*, V.1. – Wichita, KS (USA): ACG Press., 1995. – P. 287-298. [frabul16.wix.com/dvoe/publications](http://frabul16.wix.com/dvoe/publications)
14. Строительные материалы, 2006, №3. – Приложение: Наука № 7. – 36 с.
15. Налимов В.В. Логические основания планирования эксперимента / Налимов В.В., Голикова Т.И. М.: Металлургия, 2-е изд., 1981. – 152 с.
16. Вознесенский В.А. Компромиссная многофакторная оптимизация гарантированного качества шлакощелочных вяжущих (максимизация прочности и морозостойкости, минимизация расхода ресурса) / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Довгань А.Д. // *Современное промышленное и гражданское строительство*. Т. 3, №1, 2007. – С. 5-15.
17. Lyashenko T.V. Multicriterion optimisation of autoclaved aerated concrete properties and expenditure of energy resources / Lyashenko T.V., Voznesensky V.A., Gavriuliuk V.P. // *Brittle Matrix Composites 9*. – Cambridge: Woodhead Publ. Ltd. - Warsaw: IFTR, 2009. – P. 219-226.



# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ОСНОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ КАРСТА И НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

УДК 624.159.14

## АВТОР

**СЕМЕНЮК С.Д.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Республика Беларусь

## АННОТАЦИЯ

*В статье приведены основы деформирования земной поверхности в условиях образования карста и на подрабатываемых территориях. Дан анализ происходящих процессов и их влияние на конструкции зданий и сооружений*

*The deformation principles of the terrestrial surface under karst formation conditions and on the anthropogenic soils are presented in the article. The analysis of ongoing processes and their influence on the building constructions are given.*

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

карст, подрабатываемые территории, мульда, здания, сооружения

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Неравномерные деформации основания могут вызываться внешней статической нагрузкой или деформированием земной поверхности. Деформирование поверхности земли происходит вследствие подработки угольных, калийных и рудных месторождений, подтопления территорий, замачивания просадочных грунтов, карстовых и тектонических явлений. Неравномерные деформации основания, возникающие при возведении и эксплуатации зданий в сложных грунтовых условиях, следует считать одним из основных факторов, влияющих на их несущую способность, деформативность и долговечность. К категориям сложных грунтовых условий относятся территории, где в результате развития деформационных или динамических процессов в грунтах возникает опасность повреждения или разрушения зданий и сооружений [1].

Обеспечение безотказной работы конструкций зданий и сооружений – одна из важнейших проблем строительной науки. Основные причины обуславливающие эту проблему: в состав современных зданий и сооружений входит множество элементов со сложным характером взаимодействия как между собой, так и с окружающей средой; многие здания и сооружения имеют национальную и общечеловеческую ценность. Нарушение безотказности работы таких зданий и сооружений может привести к большим материальным и моральным затратам. Поиск рациональных решений, обеспечивающих повышение надежности и качества объектов строительства при минимальном использовании ресурсов на их устройство, является кон-



цептуальной стратегией современного строительства [2].

Примеры деформаций зданий и сооружений, вызванных недооценкой сложных грунтовых условий строительства, приведены в многочисленных публикациях отечественных и зарубежных авторов [2...5]. При анализе этих примеров обнаруживается соответствие форм деформаций сооружений, построенных в разнообразных условиях. Независимо от причин, приводящих к деформациям грунтов, все эти воздействия со стороны оснований на сооружения сводятся к неравномерным вертикальным и горизонтальным перемещениям оснований.

Следствием неравномерных вертикальных перемещений основания являются наблюдаемые крены сооружений, различные формы их деформаций изгиба, сдвига и кручения. Эти деформации проявляются как в чистом виде, так и в различных сочетаниях: кручение с изгибом, сжатие с кручением и т.п. Неравномерные горизонтальные перемещения основания оказывают воздействие на подземные части сооружения в виде сдвигающих сил по боковым поверхностям и подошвам фундаментов, а также в результате нормального давления сдвигающего грунта на лобовые поверхности фундаментов.

**Цель статьи** – по исследованиям деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях и в условиях образования карста разработать мероприятия по обеспечению геостойкости зданий и сооружений при неравномерном деформировании основания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### А. Явление карста и связанные с ним деформации основания

Карст – явления, связанные с растворением природными водами горных пород (гипс, известняки, мел, каменная соль и др.). Характеризуется комплексом подземных и поверхностных форм рельефа, своеобразием циркуляции и режима подземных вод, речной сети и озер.

Н.А. Гвоздецкий [6] отмечает, что «к карстовым следует относить явления, развивающиеся во всех растворимых природными водами горных породах: в известняке, доломите, в меле и иногда в мелоподобном мергеле, мраморе, а также в гипсе, ангидрите, каменной соли, калийных, калийно-магниевых и других соляных породах. В основе их возникновения лежит химический процесс растворения горной породы и геологиче-

ский процесс ее выщелачивания, т.е. растворение с удалением (выносом) растворенного вещества».

По данным [6] территория Беларуси расположена в трех карстовых областях. Север и северо-запад республики расположены в Белорусско-Прибалтийской области; Белорусское Полесье, западный, центральный и восточные регионы Беларуси охватывает Полесско-Прибалтийская область; юго-восточный регион – Украинско-Донецкая карстовая область. В развитии карста заметную роль играют эндогеодинамические факторы и это необходимо учитывать при инженерных изысканиях и проектировании различных видов строительства.

По литологическим признакам различают карбонатный, меловый, гипсовый и соляной типы карстов.

Карбонатный карст распространен наиболее широко. Характеризуется медленным растворением пород в природных условиях, благодаря чему может не учитываться возможность образования карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений.

Меловой карст достаточно широко распространен в пределах Восточной Европы. Этот тип карста – разновидность карбонатного. Развивается медленно. Характеризуется малой растворимостью мела и довольно высокой пористостью. Меловые породы легко размываемы, поэтому при увлажнении их несущая способность понижается, а при динамических воздействиях возможен переход обводненного мела в разжиженное состояние. Трещиноватость и водонепроницаемость мела различны, коэффициент фильтрации может превышать десятки метров в сутки. Провалы возникают редко, по размерам невелики.

Гипсовый карст распространен довольно широко, встречается в сочетании с карбонатным. Этот

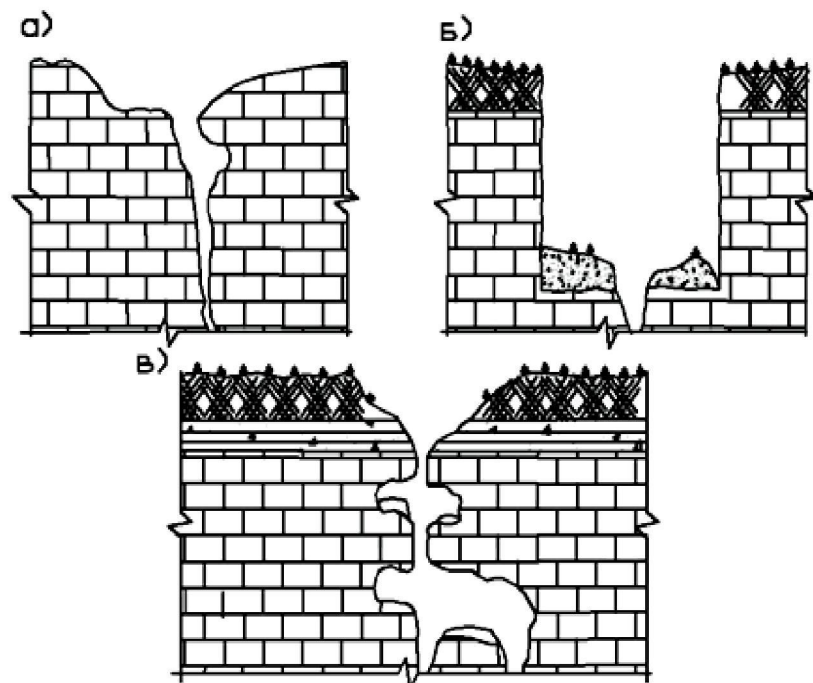
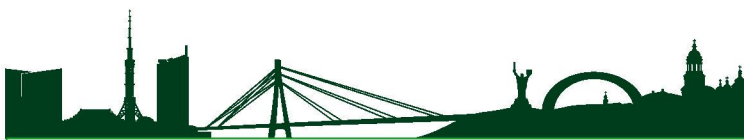


Рис. 1. Основные генетические типы карстовых воронок: а - воронка поверхностного выщелачивания; б - провальная воронка; в - воронка просасывания



тип карста развивается быстрее карбонатного, обладает значительной растворимостью пород [7]. Гипсы малопористы, в основном слабо трещиноваты и практически водонепроницаемы. Гипсовый карст характеризуется неравномерным развитием - в основном, по контакту с водонепроницаемыми породами. Провалы возникают часто.

Соляной карст встречается в сочетании с гипсовым и карбонатным и, вследствие растворимости каменной соли, при благоприятных гидрогеологических условиях развивается быстро. Поскольку соль отличается высокой пластичностью, трещины в ней редки, пористость мала. Развитие карста в естественных условиях ограничено. Разработка соляных месторождений вызывает активизацию карста [8]. Активный соляной карст очень опасен. Происходит быстрое растворение пород, образуются частые провалы, иногда очень крупные. Кроме того, происходит оседание земной поверхности на значительных площадках (мульды оседания). При строительстве в карстовых районах необходимо учитывать вид карста.

С позиции изменения формы земной поверхности различают карстовые деформации: провалы; мульды оседания (постепенные длительные оседания на больших площадях); постепенные небольшие по площади локальные оседания, в том числе воронки, блюдца и западины. Подготовка деформаций протекает на определенной глубине длительное время, но на поверхности провальный процесс происходит (условно) - мгновенно. Сначала на поверхности появляются трещины, по которым происходит обрушение грунта, и возникает воронка. Далее стенки воронки сползают, обваливаются, размеры воронки растут. По данным [9] в песчаных и глинистых грунтах продолжительность формирования провала составляет при  $R \leq 10$  м - не более нескольких минут; при  $R = 20...30$  м -

15...30 мин; при  $R \leq 50$  м - 1-3 ч. Размеры провалов зависят от геологических и гидрогеологических условий: в одних районах они не превосходят 5...10 м, в других - 50 м, а иногда - 100...300 м. Глубина провалов - до нескольких метров, иногда до нескольких десятков метров. Для сухих, рыхлых и слабосвязных грунтов отношение глубины к диаметру провала составляет 0,3...0,5; в обводненных рыхлых грунтах это отношение уменьшается. Вокруг провалов обычно бывает ослабленная зона с пониженной несущей способностью (рис. 2).

В зависимости от прогнозируемых диаметров провалов  $D_n$ , закарстованные территории подразделяются на четыре группы (табл.1).

Степень ослабления основания вокруг провала характеризуется отношением модуля деформации  $E_0$  грунта за пределами зоны ослабленного основания к модулю деформации  $E_{01}$  на краю провала, обычно  $\beta = E_0 / E_{01}$ . Ширину зоны ослабленного основания вокруг провала  $n$ , как и степень ослабления  $\beta$ , зависящую от типа грунта, его состояния, формы и глубины провала  $H_n$ , а также механизма деформации, в первом приближении определяют по данным, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Диаметры провалов для групп закарстованных территорий

Группа территорий	I <sub>n</sub>	II <sub>n</sub>	III <sub>n</sub>	IV <sub>n</sub>
Диаметр провала $D_n$ , м	$D_n \geq 20$	$20 \geq D_n > 10$	$10 \geq D_n > 3$	$D_n < 3$

### Б. Деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях

При выработке в недрах земли полезных ископаемых (уголь, руда, соли и т.п.) в толще пород образуются пустоты, которые провоцируют развитие дополнительных напряжений от массива вышележащих горных пород. Как взаимодействуют возникающие силы массива горных пород, каковы

их взаимовлияния, соответствующим образом проявляет себя и природно-техническая система «массив горных пород – выработка». В одних случаях она будет устойчивой не только в процессе проходки, но и в течение всего длительного периода эксплуатации. В других случаях устойчивость горных пород нарушается вслед за проходкой, что влечет оседание земной поверхности. И тогда выработка вызывает сдвигание вышележащих горных пород, сопровождающееся опусканием земной поверхности и образованием мульды [10]. При разработке крутопадающих угольных и соляных пластов на земной поверхности появляются значительные трещины или уступы. Выработки полезных ископаемых даже в условиях самых больших глубин вызывают

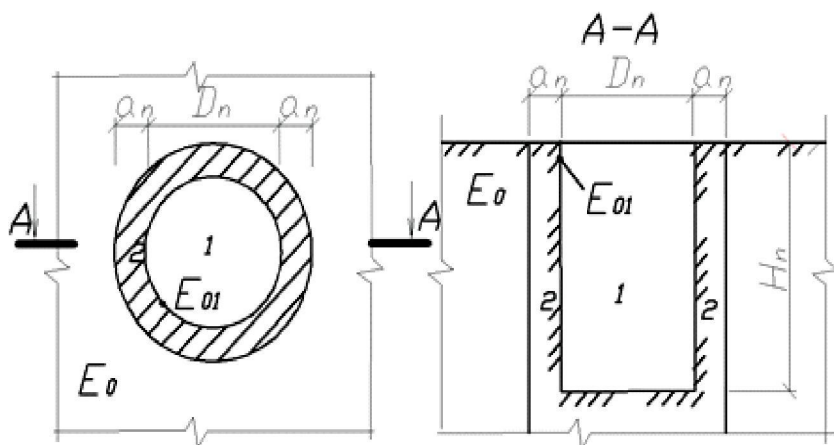
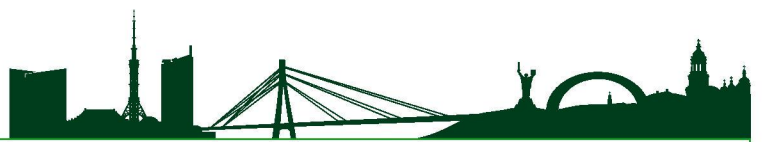


Рис. 2. Схема провала и его характеристики:

1 - провальная воронка; 2 - зона ослабленного основания;  $D_n$  - диаметр провала;  $n$  - ширина зоны ослабленного основания;  $E_0$  - модуль деформации коренного основания;  $E_{01}$  - модуль деформации на краю провала.



потерю равновесия и сдвигание горных пород на всем протяжении от выработки до земной поверхности. Наземные здания и сооружения в зоне влияния горных выработок неизбежно будут претерпевать деформации, повреждения, а иногда и разрушаться. При проектировании зданий и сооружений на подрабатываемых территориях используются идеализированные схемы деформации поверхности основания (рис. 3). Неравномерные вертикальные оседания при плавной мульде сдвижения определяются по радиусу кривизны  $R$ , км, земной поверхности (рис. 3, а,б); при ступенчатой мульде – высотой уступа  $h$ , см, (рис. 3,в) при длине сооружения  $L$ . Эшюра горизонтальных перемещений точек основания при ожидаемых относительных горизонтальных деформациях  $\epsilon$ , мм/м, принимается в виде двух треугольников. Так для растяжения (рис. 3, г) и для сжатия (рис. 3, д) наклон основания  $i$  по прямой линии (рис. 3,е).

прикрывающих пород, размеров очистной выработки и способа управления кровлей, а также от характера сдвижения наносов. Продолжительность процесса зависит от выработки одного пласта и колеблется в пределах от 2 до 44 месяцев. За окончание процесса сдвижения принимается время, после которого в течение 6 месяцев суммарное оседание не превышает 30 мм.

При отработке пластов полезных ископаемых точки земной поверхности в мульде сдвижения перемещаются одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях по сложным траекториям. Полный вектор их перемещения направлен к центру тяжести выработанного пространства. Вертикальная составляющая этого вектора называется вертикальным сдвижением – оседанием земной поверхности  $\eta$ , а горизонтальная – горизонтальным сдвижением  $\xi$ . Неравномерность вертикального и горизонтального сдвижения выражается относительными деформациями.

Относительную вертикальную деформацию выражает наклон  $i$ . Неравномерность оседаний точек земной поверхности в мульде сдвижения характеризуется разностью наклонов в двух точках  $\Delta i$ , отнесенных к расстоянию между ними. Эта характеристика называется кривизной  $K$ , обратная кривизне величина – радиус кривизны земной поверхности. Относительная горизонтальная деформация  $\epsilon$  характеризует растяжение или сжатие участка между двумя рассматриваемыми точками. На краях мульды сдвижения возникают зоны с кривизной выпуклости и горизонтальными деформациями растяжения, а в средней части – с кривизной вогнутости и деформациями сжатия. В точке перегиба мульды имеет место максимальный наклон (рис. 4).

В зависимости от деформаций земной поверхности условно подрабатываемые территории подразделяются на четыре группы (табл. 2).

Деформации грунтовых массивов, возникающие в процессе подработки, приводят к ухудшению физико-механических свойств оснований зданий

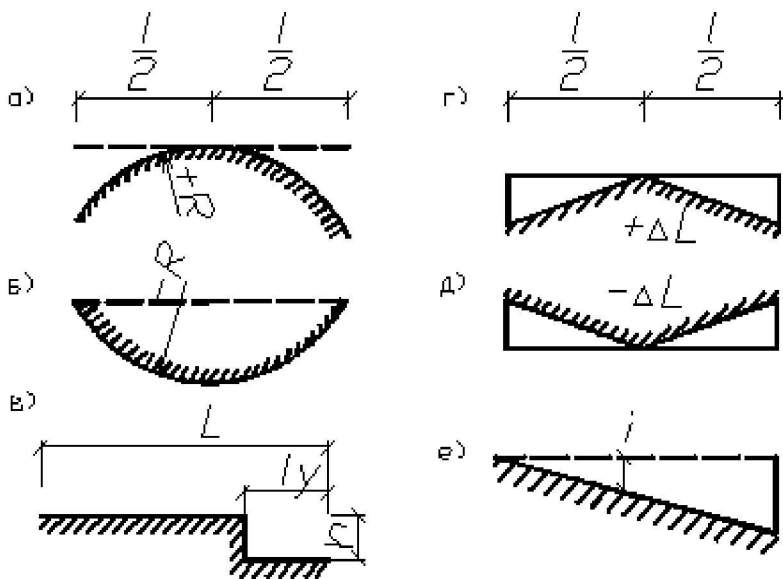
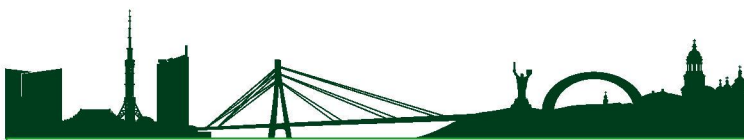


Рис. 3. Расчетные схемы деформирования поверхности основания на подрабатываемых территориях.

Деформации земной поверхности являются существенно изменчивыми случайными величинами и для их количественной оценки следует использовать методы математической статистики и теории вероятности. Воздействиями от подработки являются сдвигание и деформации земной поверхности. Сдвигание – это перемещение и деформирование горных пород под воздействием неуравновешенных гравитационных сил. Основные формы сдвижения – прогиб, обрушение, сдвиг, отжим, выдавливание и сползание. Продолжительность процесса сдвижения земной поверхности зависит от мощности пласта, глубины его разработки, угла падения, скорости подвижки забоя лавы, состава и крепости

Таблица 1. Деформации земной поверхности для групп территорий

Группа территорий	Деформация земной поверхности подрабатываемых территорий			
	радиус кривизны $R$ , км	высота уступа $h$ , см	относительная горизонтальная деформация $\epsilon$ , мм/м	наклон $i$ , мм/м
I	$1 \leq R < 3$	$25 \geq h > 15$	$12 \geq \epsilon > 8$	$20 \geq i > 10$
II	$3 \leq R < 7$	$15 \geq h > 10$	$8 \geq \epsilon > 5$	$10 \geq i > 7$
III	$7 \leq R < 12$	$10 \geq h > 5$	$5 \geq \epsilon > 3$	$7 \geq i > 5$
IV	$12 \leq R < 20$	$5 \geq h > 0$	$3 \geq \epsilon > 0$	$5 \geq i > 0$



и сооружений. Так, экспериментальными исследованиями, проведенными в Донецком и Карагандинском угольных бассейнах, установлено, что в период подработки коэффициент пористости увеличивается на 6...8 %, угол внутреннего трения - на 2...3 %, объемная масса уменьшается на 2...3 %, сцепление - на 20-40 %, модуль деформации - на 15...20 %. При этом снижение модуля деформации грунта и сцепления наблюдалось как в зоне растяжения, так и сжатия.

Попытки получить эмпирические формулы для определения значений сцепления и модуля деформации грунта в зависимости от относительных горизонтальных деформаций земной поверхности не могут быть признаны достоверными из-за весьма ограниченных опытных данных, большого разброса определяемых характеристик и отсутствия детальных сведений о фактических горизонтальных деформациях земной поверхности в точках отбора образцов грунта.

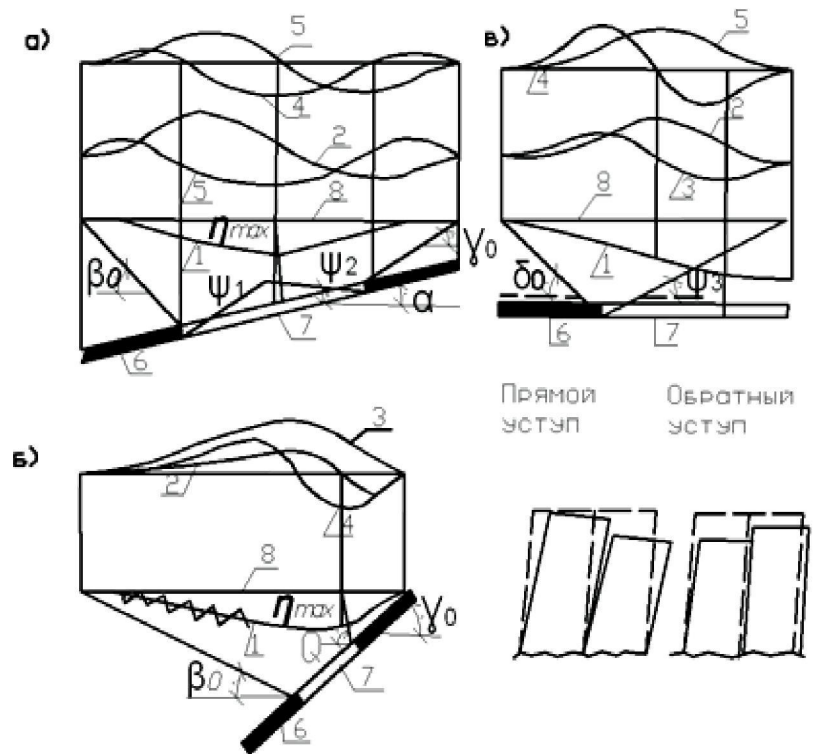


Рис. 4. Характер распределения сдвижений и деформаций в мульде:

а – вертикальный разрез в крест простирания при наклонном залегании пласта; б – то же при крутом залегании пласта; в – вертикальный разрез по простиранию пластов; 1 – кривые оседаний; 2 – эпюры наклонов; 3 – эпюры кривизны; 4 – эпюры относительных горизонтальных деформаций; 5 – эпюры горизонтальных сдвижений; 6 – пласт; 7 – очистная выработка; 8 – положение земной поверхности до подработки;  $\eta_{max}$  – максимальное оседание земной поверхности;  $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$  – граничные углы сдвижения;  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  – углы полных сдвижений;  $\theta$  – угол максимального оседания;  $\alpha$  – угол падения пласта.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГЕОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### А. Инженерно-геологические и строительно-конструктивные мероприятия по защите зданий в закарстовых районах.

К инженерно-геологическим мероприятиям относятся: тампонирование трещин и полостей в закарстовом массиве цементным раствором, бетоном или безцементными нерастворяемыми материалами; закрепление всей толщи несвязных грунтов цементацией, силикатизацией или карбо-нидными смолами; искусственное изменение гидрогеологической обстановки, обеспечивающее замедленное или полное прекращение карстового или карстово-суффозионного процесса.

Строительно-конструктивные мероприятия предусматривают: усиление несущих конструкций и их объединение в пространственные жесткие блоки; устройство неразрезных монолитных ленточных железобетонных фундаментов или фундаментов в виде системы перекрестных балок; сплошных плоских или ребристых плит, плит коробчатого сечения; устройство поэтажных железобетонных поясов, связей, и т.п.; устройство специальных фундаментов с применением буронабивных опор.

При этом минимальная длина фундамента должна приниматься

$$L \geq 5 D_n, \quad (1)$$

где  $D_n$  – диаметр провальной воронки.

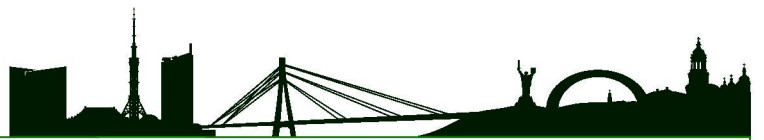
Для замоноличивания провальных воронок,

образовавшихся под зданием, и исключения возможности их развития следует предусматривать устройство в полых или фундаментных плитах систем для нагнетания раствора, мелкозернистого бетона или сухих грунтовых смесей в провальные воронки.

Для восприятия горизонтальных растягивающих усилий в верхней и нижней части цокольных панелей следует предусматривать арматурные пояса с соединением арматурных выпусков в местах стыков панелей с последующим замоноличиванием соединений. Бетон моноличивания при этом образует шпонки, воспринимающие вместе с монолитным фундаментом вертикальную перерезывающую силу.

### Б. Мероприятия по защите зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

При расчете зданий на воздействие от подработки в качестве исходных данных принимаются деформации земной поверхности в районах расположения объекта. Здания и сооружения могут проектироваться по жесткой, податливой или комбинированной конструктивной схемами. Основной мерой защиты является разрезка зданий на замкнутые прямоугольные отсеки поперечными деформационными швами. Для жесткой конструктивной схемы кроме разрезки на отсеки рекомен-



дуются усиление отдельных элементов несущих конструкций; объединение несущих конструкций в жесткие пространственные системы; устройство фундаментных и поэтажных железобетонных поясов; устройство фундаментов в виде сплошных железобетонных плит; перекрестных балок или балок стенок.

При проектировании по податливой схеме, кроме разрезов на отсеки, применяют защитные мероприятия: устройство в фундаментной части здания горизонтального шва скольжения; введение шарнирных и податливых сопряжений между элементами несущих и ограждающих конструкций; снижение жесткости несущих конструкций; введение гибких связей и компенсационных устройств.

Для комбинированной конструктивной схемы могут применяться сочетания мер защиты, рекомендуемых для жестких и податливых схем.

В качестве горных мер защиты может применяться: полная или частичная закладка выработанного пространства; разработка пластов с разрывом во времени и рассредоточение горных работ в пространстве; неполная выемка полезных ископаемых. В районах, где неравномерные деформации земной поверхности могут достигать значительных величин, а также, когда общая деформативность зданий (например, крена) может достигать недопустимых величин, можно применять поддомкрачивание [11].

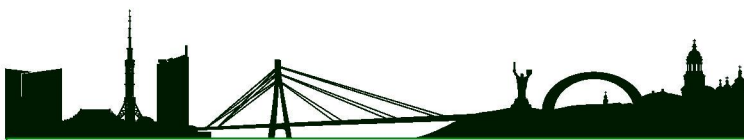
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усилия в зданиях и сооружениях, рассчитываемых на воздействия деформаций земной поверхности, зависят главным образом от деформационных и прочностных характеристик грунта. Поэтому учет взаимодействия основания с конструкциями фундамента является наиболее важным при решении контактной задачи. Воздействия в виде смещений и изменения жесткости основания, как правило, проявляются во время эксплуатации зданий и сооружений. Это приводит к перераспределению контактных напряжений вплоть до отрыва фундаментов от основания и нарушения прочности грунта на отдельных участках. Особенностью работы зданий в подобных условиях является то, что контактные напряжения изменяются при постоянной внешней нагрузке, но общий объем эпюры контактных напряжений на любой стадии деформирования основания остается одним и тем же.

Для обеспечения безотказной работы при эксплуатации и предотвращении аварий зданий и сооружений, возводимых на неравномерно деформируемом основании была предложена конструкция сборно-монолитного фундамента с жестким сопряжением в узлах [2]. Для жилых домов серии 1.21 такая конструкция была изготовлена и испытана в составе жилого дома в г. Теплогорске (1985г.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черный Г.И. Геотехнические процессы в сложных грунтовых условиях Украины / Черный Г.И., Черный В.Г. // Світ геотехніки. - К.: НДІБК, 2000. – Вип. 53 - С. 4-9.
2. Семенюк С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании: монография / Семенюк С.Д. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2003. – 269 с.
3. Проектирование и защита производственных зданий в особых условиях / [Метелюк Н.Е., Бучинский Ю.А., Коваленко М.А., Горновесова Т.Г.]. – Киев: Будівельник, 1984. – 176 с.
4. Kwjatek I. Wplyw poziomego zozlyznienia podloza na bydownle. Ochzona-terenow gornizych // Int. N.a.s Building. – Warszawa, 1976. - №3. – P. 43-46
5. Клепиков С.Н. Проектирование и строительство зданий и сооружений на просадочных грунтах и подрабатываемых территориях / Клепиков С.Н., Розенфельд И.А. – Киев: Знание, 1978. – 28с.
6. Гвоздецкий Н.А. Карст / Гвоздецкий Н.А. – М.: Мысль, 1981.-214 с.
7. Петрухин В.П. Французский опыт строительства на закарстованных территориях / Петрухин В.П. Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1980. - №5. – С. 25-27
8. Вопросы проектирования зданий и сооружений в карстовых районах. / [Пушкарев В.В., Толмачев В.В., Метелюк Н.Е., Зайцев Г.П.] // Ком-плексная оценка грунтов и инженерно-геологических процессов. – М.: Стройиздат, 1982. – С. 102-111.
9. Метелюк Н.С. Защита зданий и сооружений в карстовых районах./ Метелюк Н.Е. Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических условиях. – Киев: Будівельник, 1982. – С. 102-111.
10. Пашкин Е.М. Породные конструкции и их роль в формировании устойчивости подземных выработок / Пашкин Е.М. Инженерная геология. – 1992. – №1. С. 3-12.
11. Шумовский В.П. Режим выравнивания зданий и сооружений домкратными системами / Шумовский В.П. Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических условиях. – Киев: Будівельник, 1982. – С. 101-105.



# ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАЛИШКІВ СТАЛЕВОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ ЯК РОБОЧОЇ ЛИСТОВОЇ АРМАТУРИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

УДК 624.012.35

## АВТОРИ

**ШМИГ Р.А.**, канд. техн. наук, доцент, Львівського національного аграрного університету, м. Львів, Україна.

**ДОБРЯНСЬКИЙ І.М.**, д-р техн. наук, проф., Львівського національного аграрного університету, м. Львів, Україна.

**ДОБРЯНСЬКА Л.О.**, канд. екон. наук, доцент, Львівського національного аграрного університету, м. Львів, Україна.

**БУРЧЕНЯ С.П.**, старший викладач, Львівського національного аграрного університету, м. Львів, Україна.

**НІКІФОРЯК С.В.**, старший викладач, Львівського національного аграрного університету, м. Львів, Україна.

## АНОТАЦІЯ

*На переробних підприємствах нагромаджуються технологічні залишки сталевих листових прокатів, які можна використати як робочу листову чи стрічкову арматуру у залізобетонних конструкціях. Проведені численні експериментально-теоретичні дослідження показали, що такі конструкції є абсолютно надійними, мають багато переваг та з успіхом можуть використовуватися у промисловому, спеціальному та сільськогосподарському будівництві.*

*As a rule, technological remnants of steel sheet products accumulate in processing plants, and these leftovers can be used as a work sheet or tape reinforcement in reinforced concrete structures. Numerous experimental and theoretical studies have shown that these designs are absolutely reliable, have many advantages and can be successfully used in industrial, agricultural and special construction.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

технологічні залишки, листові арматури, балка, бетон

В умовах економічної кризи використання технологічних залишків будівельних матеріалів у виробництві нових будівельних конструкцій є вкрай необхідним та економічно обґрунтованим.

Збільшення кількості залишків сталевих листових прокатів, а згодом вже і брухту, на переробних підприємствах України чинить певний негативний екологічний вплив на навколишнє природне середовище. Тому розумне та раціональне використання таких залишків, з одного боку, зменшить екологічні негаразди, а з іншого - дозволить технологічні залишки ефективно використати у будівельній галузі для виготовлення нових будівельних конструкцій.

За даними загальноукраїнського будівельного інтернет-порталу [www.ibud.ua](http://www.ibud.ua), вартість однієї тонни листового прокату лежить у межах 7950...8200 грн. залежно від регіону України. Вартість технологічних залишків листового прокату на ринку оцінюють у 1500...3000 грн. за одну тону. Економія коштів на одній тонні становить 65...80%. Тому є очевидним, що використання таких матеріалів у виготовленні нових будівельних конструкцій має достатньо обґрунтовану економічну доцільність.

Різання металу є одним із основних заготівельних процесів металу на металообробних підприємствах. Спосіб рубання або різання металу визначається залежно від різновиду прокату та вимог замовника. У виробничій практиці найширше використовують такі способи різання листового металу:

- плазмовий – виконується за допомогою місцевого плавлення, з наступним частковим вигоранням та видуванням частинок металу під впливом наплавленого потоку суміші газів за температури 15000...20000°C;
- лазерний – полягає в розплавленні матеріалу лазерним променем;
- газовий – процес розплавлення металу струменем газу за допомогою спеціальної газорізальної машинки;
- гільйотинний – відокремлення готового еле-



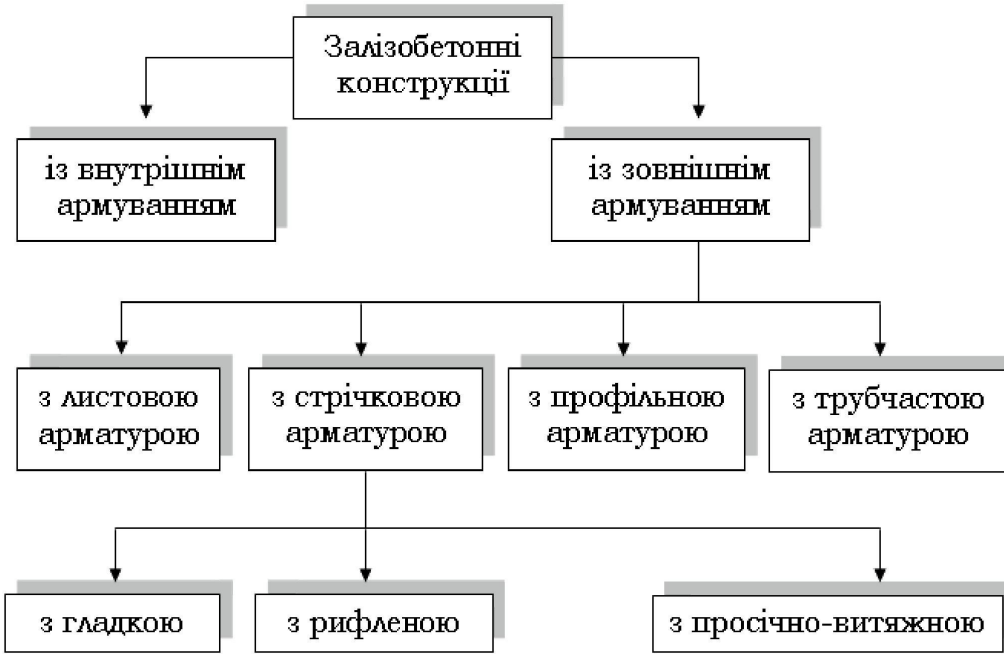
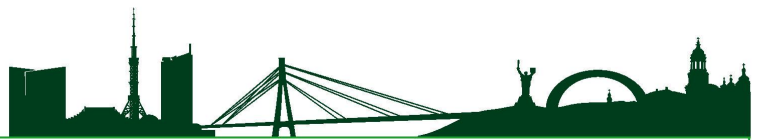


Рис. 1. Класифікація залізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням.

мента від цілої частини листа виконується різким ударом верхнього рухомого гільйотинного ножа об нижню стаціонарну частину гільйотини.

Перелічені способи різання листового металу з використанням попередніх розкроїв у спеціальних комп'ютерних програмах дають змогу зменшити відсоток відходів.

Проте, за даними металургійних комбінатів та переробних підприємств, після обробки сталевого листа, особливо в процесі його розкрою, таки залишається близько 4...6% технологічних залишків.

Ці технологічні залишки листової арматури

переваг над залізобетонними конструкціями із традиційним стрижневим армуванням, а саме:

- конструктивне вирішення поперечного перерізу залізобетонних згинаних елементів із зовнішнім армуванням дає змогу, забезпечуючи міцність і жорсткість, зменшити висоту перерізу елементів;
- досягається значна економія металу внаслідок застосування зовнішнього армування;
- відпадає необхідність багаторядного розміщення стрижнів арматури, що набагато спрощує технологію виготовлення конструкцій;
- простіше вкладання бетонної суміші та її

можна з успіхом використати, наприклад, як робочу листову арматуру під час виготовлення залізобетонних конструкцій.

Для виготовлення залізобетонних балкових конструкцій із зовнішнім листовим (стрічковим) армуванням використовують, як правило, бетон, стрижневу гладку та рифлену арматуру, листову гладку та рифлену сталь, профільований настил, просічно-втяжний лист (рис. 1) [2; 3].

Такі конструкції володіють низкою

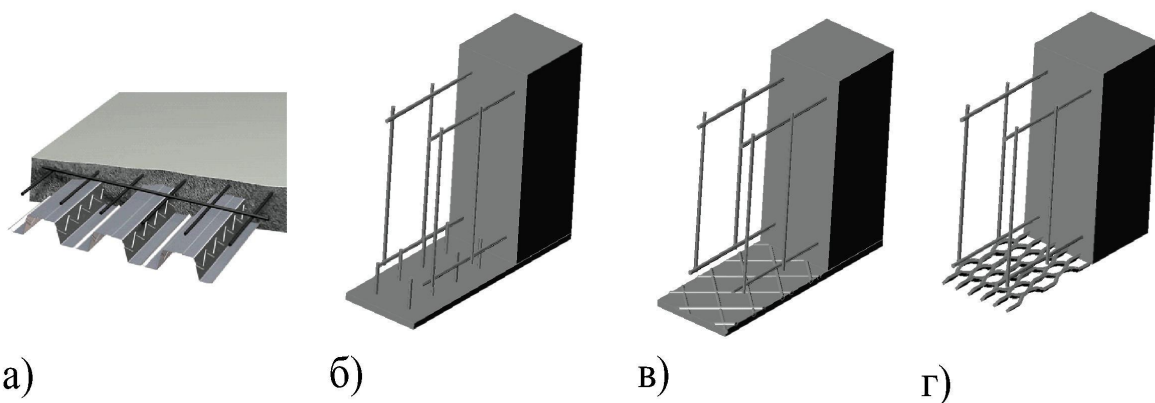
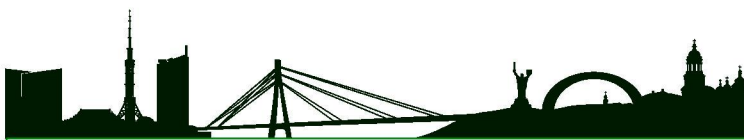


Рис. 2. . Застосування листової арматури як робочої у залізобетонних конструкціях: а) профільованого настилу; б) гладкої листової арматури з короткими анкерними стрижнями; в) рифленої листової арматури; г) просічно-втяжного листа.



вібрування;

- спрощене посилення залізобетонного елемента та збільшення корисного навантаження, що є актуальним у процесі реконструкції виробництва;
- відпадає необхідність влаштування додаткових закладних деталей для кріплення елементів кістяка будівлі, стінового огороження, а також різноманітного технологічного обладнання;
- існує можливість одночасного використання стрічкової чи листової арматури як елемента опалубки;
- стає можливим виготовлення конструкцій, які забезпечують біологічний захист від різного роду радіоактивного випромінювання, що актуально для атомних електростанцій, а також конструкцій, які є непроникними для рідин і газів;
- використання залізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням розширює сферу їх застосування;
- тріщиностійкість згинаних елементів із зовнішнім армуванням вища, поява й розвиток тріщин у розтягнутій зоні в процесі експлуатації не має такого суттєвого значення, як у залізобетонних;
- можливе подальше використання стрічкової арматури з конструкцій, які вийшли з ладу.

Завдяки наведеним перевагам залізобетонні конструкції з листовою арматурою можна використовувати у промисловому, цивільному, сільськогосподарському та спеціальному будівництві.

Уже понад 60 років у Національному університеті «Львівська політехніка» та Львівському національному аграрному університеті тривають експериментально-теоретичні дослідження залізобетонних конструкцій, які армовані зовнішнім листовим армуванням (рис. 2) [1; 4-7].

Проведені численні експериментально-теоретичні дослідження залізобетонних балкових та плитних зразків, армованих зовнішнім листовим та стрічковим армуванням, показали, що такі конструкції під зовнішнім силовим навантаженням є абсолютно надійними, мають високі міцнісні характеристики [4-7].

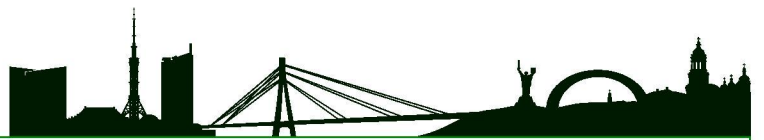
зеконотити кошти на його переробці, отримати на 65...80% нижчої вартості нові будівельні конструкції.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Воронков Р.В. Железобетонные конструкции с листовой арматурой / Р.В. Воронков. – Л. : Стройиздат, Ленинград. отд.-ние, 1975. – 144 с.
2. Листы стальные просечно-вытяжные. Технические условия : ГОСТ 8706-78. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.
3. Листы стальные с ромбическим и чечевичным рифлением. Технические условия : ГОСТ 8568-77. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
4. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф.Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 88 с.
5. Фамуляк Ю.Є. Міцність сталебетонних балок з торцевими анкерами в зоні дії поперечних сил / Фамуляк Ю.Є., Клименко Ф.Є., Барабаш В.М. – Львів : Львів. держ. аграр. ун-т, 2006. – 117 с.
6. Шевчук С.Г. Несуча здатність та деформативність сталебетонних перекриттів / С.Г. Шевчук, В.В. Білозір, Р.А. Шмиг. – Львів : Ліга-Прес, 2010. – 117 с.
7. Пат. u2011 08752 Україна, МПК E04C 5/02(2006.01). Армований сталебетонний елемент / Добрянський І.М., Шмиг Р.А., Бурчєня С.П.; заявник і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69028; заявл. 12.07.2011 ; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.

## ВИСНОВКИ

Застосування технологічних залишків сталєвого листового прокату як робочої листової арматури залізобетонних конструкцій дозволить зменшити кількість металобрухту на переробних підприємствах, покращити екологічний стан,



# ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОНВЕЙЕРА НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЛЁТНОГО СТРОЕНИЯ РЕШЁТЧАТОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ГАЛЕРЕИ

УДК 691.54:693.54

## АВТОР

**КУЩЕНКО В. Н.**, д-р техн. наук, профессор, Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, г. Макеевка, Украина

**ГУБАРЕВ М. В.**, аспирант, Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, г. Макеевка, Украина

## АННОТАЦИЯ

*В статье выполнен анализ влияния скорости движения конвейера на напряжённно-деформированное состояние конструкций решётчатых конвейерных галерей пролётом 18 и 30 м. В результате численных экспериментов получены коэффициенты динамичности по внутренним усилиям.*

*In article the analysis of influence of speed of movement of the conveyor on intense-state of strain designs of trellised conveyor passageways by span of 18 and 30 m. has been carried out. As a result of numerical experiments, dynamism factors on internal efforts.*

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

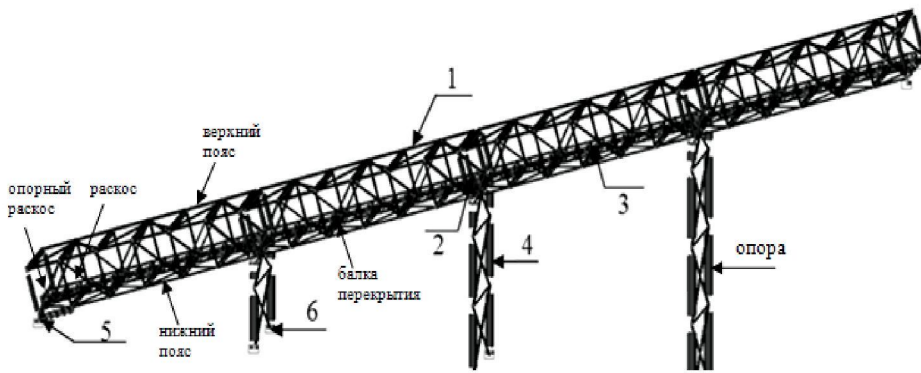
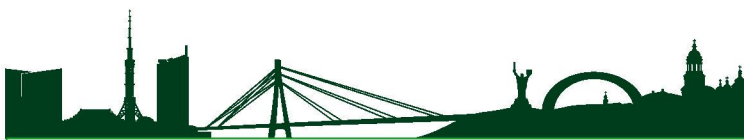
конструкции решётчатых конвейерных галерей, коэффициент динамичности по внутренним усилиям, коэффициенты использования сечений

Технологические нагрузки, действующие на строительные конструкции конвейерных галерей, имеют динамический характер, обусловленный вынужденными колебаниями конвейерной ленты с сыпучим материалом. Динамический характер технологической нагрузки учитывается нормами [3] коэффициентом динамичности, на который умножается расчётное значение технологической нагрузки. Указанный коэффициент динамичности определяется независимо от скорости движения конвейера. При этом в работах [4, 5] отмечается, что интенсивность величины динамической нагрузки существенно зависит от скорости движения конвейера. Работа, посвящённая данной теме, является актуальной научной задачей.

Объектом исследования являются решётчатые конвейерные галереи, оборудованные ленточными конвейерами с жёсткими конвейерными станнами (рис.1).

Инженерная методика расчёта решётчатых конвейерных галерей приведена в нормативных литературных источниках [1-3].

В работе авторов [6] приведены результаты анализа влияния факторов длительной эксплуатации на несущую способность конвейерных галерей. В указанной работе технологические нагрузки принимались в виде статических эквивалентов в соответствии с положениями [3], то есть учётом коэффициента динамичности  $K_d = 1,15$ , который не зависит от скорости движения конвейера. В работах [4, 5] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области ди-



**Рис. 1.** Расчётная стержневая модель решётчатой конвейерной галереи: 1 – пролётное строение, 2 – ветровая рама, 3 – конвейерный стан, 4 – плоская (шарнирная) опора, 5 – неподвижная (анкерная) опора, 6 – опорное закрепление

намики конструкций конвейерных галерей, которые показывают существенное влияние скорости движения ленточных конвейеров на величину динамических нагрузок. Анализ литературных источников также показал отсутствие работ, посвящённых исследованию влияния скорости движения конвейера на НДС элементов пролётных строений решётчатых конвейерных галерей.

Исследования выполнялись с использованием метода конечного элемента (МКЭ) в среде про-

граммного комплекса SCAD office.

Анализ НДС элементов пролётных строений выполнялся на расчётной модели с учётом стана конвейера (рис. 1).

В результате анализа НДС элементов пролётных строений получены зависимости коэффициентов динамичности по внутренним усилиям от скорости движения конвейера для основных конструктивных элементов конвейерных галерей (рис. 2).

На графиках, приведенных на рис. 2 можно выделить три области:

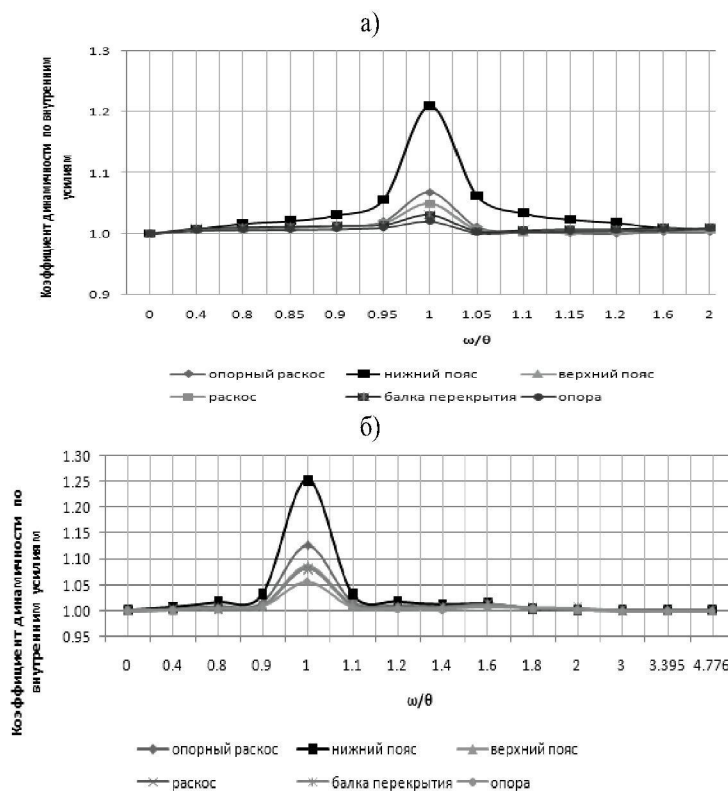
- первая область соответствует изменению безразмерного параметра  $\omega/\theta = 0...0,95$  (скорость движения конвейера от 0 до 0,50 м/с – начало движения конвейера), для которой коэффициент динамичности по внутренним усилиям для характерных конструктивных элементов изменяется от 1,00 до 1,06, что не превышает результаты, полученные по нормативной методике [3];

- вторая область соответствует изменению безразмерного параметра  $\omega/\theta = 0,95...1,00$  (скорость движения конвейера от 0,5 до 0,6 м/с – резонансный режим), для которой коэффициент динамичности по внутренним усилиям для характерных конструктивных элементов достигает значения максимума и изменяется от 1,03 до 1,26, что превышает результаты, полученные по нормативной методике [3];

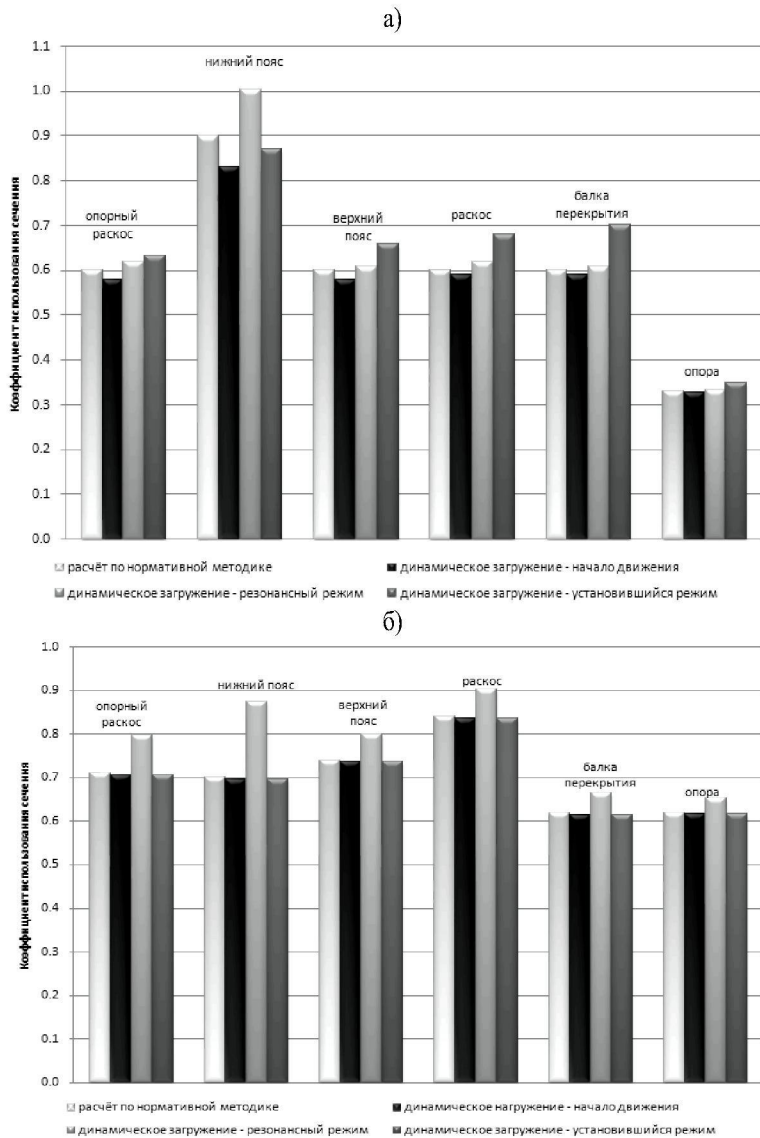
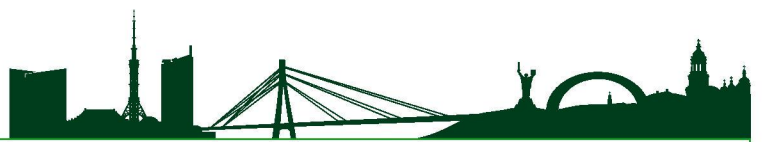
- третья область соответствует изменению безразмерного параметра  $\omega/\theta = 1,05...4,78$  (скорость движения конвейера от 0,62 до 2,00 м/с – установившийся режим), для которой коэффициент динамичности по внутренним усилиям для характерных конструктивных элементов изменяется от 1,00 до 1,06, что не превышает результаты, полученные по нормативной методике [3].

Сопоставление результатов, полученных в соответствии с положениями [3] и динамического расчёта продемонстрированы на рис. 3.

Результаты численных экспериментов, приведенные на диаграмме (рис. 3) демонстрируют зависимость коэффициентов использования сечений основных конструктивных элементов от скорости движения конвейера.



**Рис. 2.** График зависимости коэффициента динамичности по внутренним усилиям от скорости движения конвейера в конструктивных элементах: а) пролёт 18 м, б) пролёт 30 м.  $\theta$  – низшая частота изгибной формы собственных колебаний (Гц),  $\omega$  – частота вынужденных колебаний (Гц).



**Рис. 3.** Сопоставление коэффициентов использования сечений основных конструктивных элементов, полученных по нормативной методике [3] и в результате динамического расчёта: а) пролёт 18 м, б) пролёт 30 м.

3. Нормами [3] не предусмотрен учёт влияния скорости движения конвейера на НДС основных конструктивных элементов конвейерных галерей. Однако, при изменении скорости движения конвейера (ускорение или замедление) наблюдается повышение динамических напряжений в элементах расположенных в средней части пролёта главных ферм, что может стать причиной истощения их несущей способности вследствие накопления усталостных повреждений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения [Текст]: Учеб. для строит. вузов / ред. В. В. Горева. – М.: Высш. шк., 1999. – 544 с.
2. Андреев, А. В. Исследование и расчёт конвейерных лент и приводов [Текст] / А. В. Андреев. – М.: Углетехиздат, 1959. – 100 с.
3. Пособие по проектированию конвейерных галерей (к СНиП 2.09.03-85) [Текст] / ГПИ Ленпроектстальконструкция. – М.: Стройиздат, 1989. – 111 с.
4. Пасынков, Б. П. Динамика транспортёрных эстакад галерей [Текст] / Б. П. Пасынков, А. Д. Ним // Динамический расчёт специальных инженерных сооружений и конструкций. Справочник проектировщика / под ред. профессоров Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 349-359.
5. Динамические испытания моста транспортёрной галереи [Текст] / [А. М. Югов, С. В. Колесниченко, Д. В. Левченко и др.] // Металлические конструкции. – 2003. – Т.6., №1. – С. 35-42.
6. Куценко, В. Н. Анализ напряжённо-деформированного состояния опорного узла неподвижной опоры решётчатой конвейерной галереи [Текст] / В. Н. Куценко, М. В. Губарев // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ДонНАБА. – Макіївка, 2012. – Вип. 2012\_5(97) : Будівельні конструкції будівель та споруд: проектування, виготовлення, реконструкція та обслуговування. – С. 76–80.

## ВЫВОДЫ

1. Для наиболее напряжённых элементов конвейерных галерей коэффициент динамичности по внутренним усилиям составляет диапазон от 1,21 до 1,26 при скорости движения конвейера 0,50...0,60 м/с, что превышает результаты, полученные по нормативной методике [3].
2. Увеличение напряжений в наиболее напряжённых элементах составляет диапазон от 16,1 до 19,5 % по сравнению с результатами, полученными по нормативной методике [3].



# АНАЛІЗ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ГРУПИ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ СТАРОЇ ЗАБУДОВИ

УДК 624.04

## АВТОРИ

**ГЛАДИШЕВ Д.Г.**, канд. техн. наук, доцент  
Національного університету „Львівська політехніка”

**ГЛАДИШЕВ Г.М.**, канд. техн. наук, доцент  
Національного університету „Львівська політехніка”

**ЦАРЬОВ Е.С.**, магістр Національного університету  
„Львівська політехніка”

**ДАЦ А.Я.**, завідувач лабораторії Національного  
університету „Львівська політехніка”

## АНОТАЦІЯ

*Наведено аналіз порядку забудови будинків за показниками, отриманими під час обстеження групи будівель в старій забудові м. Львова.*

*The possibility of determining the order of building houses for the parameters obtained during the test group of buildings in the old building of the city of Lviv.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

обстеження, деформації, порядок забудови

Згідно діючих нормативних документів [1], будівлі, які розташовані в зоні давно сформованої малоповерхової щільної старої забудови, підлягають обстеженню за своїм технічним станом у фіксовані нормативні терміни і обов'язково, якщо ділянки під нове будівництво знаходяться у безпосередній близькості до щільної старої забудови, для визначення можливості несприятливого впливу нового будівництва на сформовану стару забудову та навпаки.

До розташованих в умовах щільної забудови слід відносити будівлі, в основах яких зони напружень і переміщень, визначені як для незалежних окремо розташованих об'єктів, перетинаються. До таких випадків будівництва відносяться і багатосекційні будинки, які споруджуються чергами. Зведення кожної черги, секції або кількох секцій слід розглядати як будівництво нового об'єкта біля існуючого.

В умови старої щільної забудови м. Львова повністю підпадають будинки №№ 28, 30, 32, 34 по вул. Джерельній і їх флігелі (рис. 1). Розглянуті будинки не були спеціально розраховані на зусилля, що виникають при взаємодії їх з основою та між собою.

Інженерно-геологічні умови ділянки ускладнені присутністю насипних ґрунтів (ІГЕ-1) потужністю від 1,8 м до 5,3 м та середньорозкладених торфів (ІГЕ-2) потужністю від 0,3 м до 2,9 м з  $E=1,24/2,2$  МПа. Територія ділянки характеризується підтопленням. Торфи мають велику нерівномірну стисливість, яка повільно тече у часі, мінливість та анізотропію характеристик міцності, деформативності, фільтрації і зміни їх у процесі консолідації основи. Підстилаючим шаром торфу є глина тугопластична (ІГЕ-3)  $E=11$  МПа з прошарками напівтвердої та з домішками органічних речовин. Категорія складності інженерно-геологічних умов території - II.

Дослідження матеріалу муру стін показало достатньо високу міцність цегли  $f_b=10$  МПа та дуже низьку міцність розчину  $f_m=0,5$  МПа,

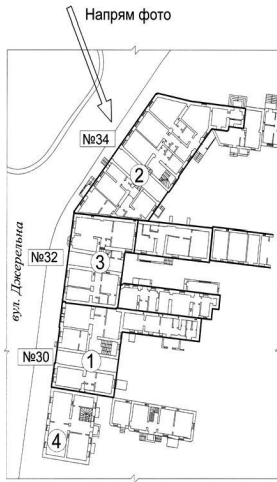
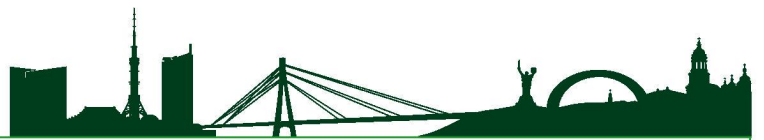


Рис. 1. Група з чотирьох будинків (зліва-направо): №№34, 32, 30, 28, по вул. Джерельній. Номери на плані групи будинків вказують на порядок забудови будинків за аналізом фактичних просторових деформацій

що не забезпечує достатню міцність кладки по перев'язаному та неперевазаному швах у складних інженерно-геологічних умовах будівельного майданчика на сейсмічні впливи.

Розподіл напружень в основі від дії тиску  $p$ , під фундаментами в довільній точці півпростору розраховують за формулою Д.5 [1] або з використанням методу кутових точок за формулою Д.7 [1].

При визначенні взаємовпливу тисків  $p_i$  під підшвами фундаментів суміжних груп розглянутих будинків за методикою наведеною у нормах [1], слід виконати значну кількість розрахунків напружень для побудови епюр додаткових тисків та ув'язку напружень з деформаціями для аналізу і визначення порядку послідовності будівництва в межах розглянутої ділянки старої забудови.

Окрім того, згідно підрозділу 11.3.13 [1], розрахунок фундаментів існуючих об'єктів за деформаціями основи за другою групою граничних станів виконують у всіх випадках, якщо вони знаходяться в зоні впливу нового будівництва у тому числі прибудов, надбудов та вставок між існуючими будинками.

Розрахунки осідань системи фундаментів будівлі з врахуванням впливу тих будівель, що розташовані поруч, необхідно виконувати з урахуванням взаємного впливу. Такі розрахунки виконують з використанням розрахункової схеми у вигляді лінійно-деформованого півпростору і методу поширеного підсумовування. Осідання  $S$  фундаменту будинку, що розраховується, обчислюють за формулою Д.1 [1] в якій до епюри додаткових напружень в основі додаються напруження впливу від  $i$ -тих фундаментів будинку та фундаментів суміжних будівель.

**Метою роботи** є розробка методика, яка дає можливість на час обстеження швидко визначити фактичні просторові деформації згрупованих будинків у старій забудові разом з основами фундаментів.

Задачею досліджень є отримання експериментальних результатів, які характеризують деформований стан окремих будівель та їх основ в межах

щільної забудови, і за якими можна оцінити порядок у послідовності будівництва будинків через аналіз їх взаємовпливу в межах розглянутої групи будівель без попереднього теоретичного розрахунку.

Автори пропонують почати обстеження із використання геодезичного методу, який дає можливість швидко визначити фактичні просторові інтегральні деформації каркасів окремих будівель разом з основою в межах згрупованих будинків старої забудови.

Для визначення при обстеженні фактичних інтегральних деформацій зовнішніх стін житлових

будинків (рис. 1) геодезичним методом слід:

- вибрати точки замірів на елементах фасадів будинків, де за час експлуатації косметичні ремонти не змінили початковий образ фасадів та суттєво не могли на них збільшити нашарування ремонтних матеріалів;
- заміряти фактичні вертикальні переміщення, які супроводжували будинки старої забудови за 80...90 років їх експлуатації;
- виконати аналіз фактичних просторових деформацій кожної будівлі в межах групи будівель для визначення їх взаємовпливу та виконати їх порівняння з нормативними значеннями граничних деформацій.

Трициноутворення, вертикальні деформації головних фасадів будинків №№34, 32, 30, характерні параметри їх деформування наведені на рис. 2, а результати обробки деформування будинків наведені на рис. 3.

Граничні нормативні значення сумісних деформацій основ і фундаментів для будинки з несучими стінами з цегляної кладки без армування слід приймати згідно з табл. И.1 [1]. Так, відносна різниця осідань  $(\Delta S/L)_u \leq 0,002$ ; крен  $i_u \leq 0,005$ ; граничні середні осідання  $S_u \leq 120$  мм.

За виконаними замірами визначили різницю осідань  $\Delta S$  торцевих стін в площинах фасадів обстежуваних будинків. Всі визначені значення різниць осідань  $\Delta S$  практично перевищують граничні  $S_u = 120$  мм, які наведені у таблиці И.1 [1] для багатопверхових безкаркасних будинків з несучими стінами з цегляної кладки без армування. Так, фактичні значення  $\Delta S$  відповідно для будинків №№ 34, 32, 30 – 161 мм, 122 мм, 119 мм.

Крени фундаментів в площинах фасадних стін будинків, визначені за формулою  $i = \Delta S/L$ , перевищують граничні значення  $i_u = 0,005$ , зафіксовані у нормативних документах. Значення  $\Delta S/L$  для будинків №№34, 32, 30 відповідно:  $161/26790 = 0,006$ ;  $122/15630 = 0,00781$ ;  $119/15200 = 0,00783$ .

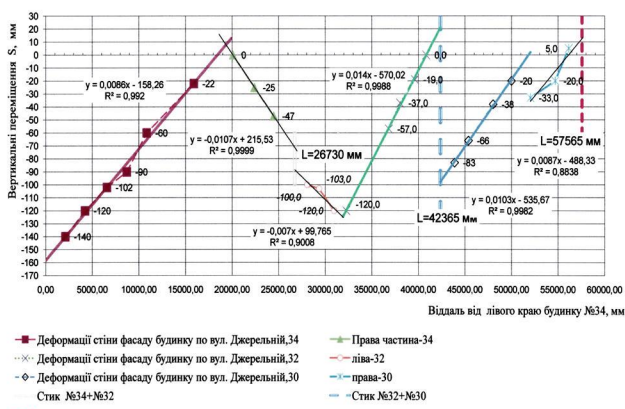
Відносна різниця осідань  $(\Delta S/L)_i$  торцевих стін, перпендикулярних до фасадів, відповідно будинків №№34, 32, 30:  $161/26790 = 0,006$ ;



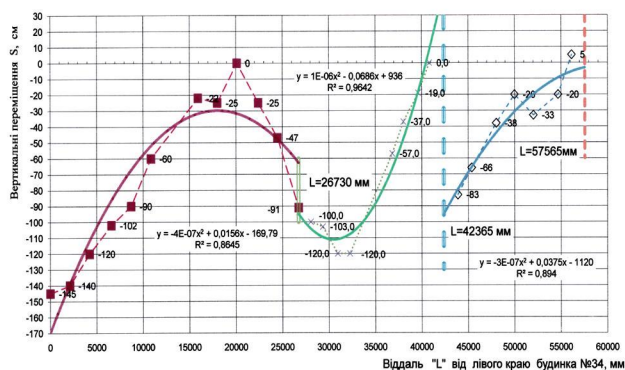
Рис. 2. Тріщиноутворення на фасадах житлових будинків старої забудови



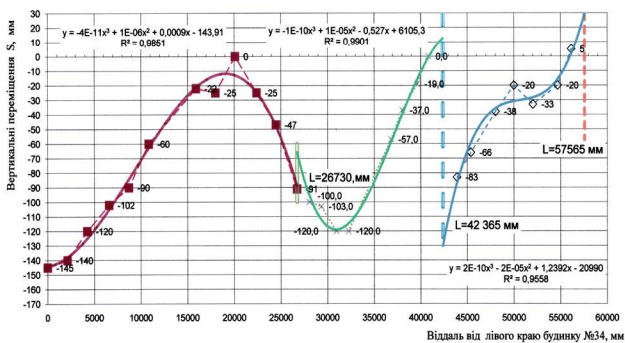
	$i=0,00603$	$i=0,0078$	$i=0,007829$
№34:	$+f=114$ мм	№32: $-f=89$ мм	№30: $+f=19,2$ мм
	$R=0,716$ км	$R=0,331$ км	$R=1,507$ км



а)



б)



в)

Рис. 3. Зафіксовані деформовані стани головних фасадів будинків №№34, 32, 30, які апроксимовані рівняннями різного порядку: а – апроксимація рівняннями першого порядку (загальні напрямки нахилу ділянок фасадів, точки їх зламів та місця вертикальних змінень ділянок фасаду); б – апроксимація рівняннями другого порядку (інтегральні значення радіусів кривизни); в – апроксимація рівняннями третього порядку (значення радіусів кривизни по ділянках фасадів, порядок будівництва за обрисом графіків рівнянь апроксимації та характерних рис тріщиноутворення на фасадах будинків)

$122/15630=0,00781$ ;  $119/15200=0,00783$ , перевищує у 3...3,9 рази граничні значення  $(\Delta S/L)_u=0,0020$  зафіксовані у таблиці И.1 [1].

Граничні значення відносного прогину « $f$ » будинків у табл. И.1 [1] приймають  $-f_u=0,5 \times (\Delta S/L)_u = 0,5 \times 0,002 = 0,001$ . Фактичне значення прогину  $f_i=0,5 \times (\Delta S_i/L)_i$  перевищує у 5,7 рази граничні значення  $-f_u$  для фасадної стіни будинку №32  $-89/15630 = -0,0057 > 0,001$ ;

Граничні значення відносного вигину « $f$ » будинків у табл. И.1 [1] приймають  $+f_u=0,25 \times (\Delta S/L)_u = 0,25 \times 0,002 = 0,0005$ . Так, фактичні значення  $+f_i=0,25 \times (\Delta S_i/L)_i$  перевищують у 2,5...6,4 рази відповідні значення  $+f_u$  для фасадних стін будинків №34, №30:  $85/26790=0,0032$ ;  $19,2/15200=0,00126$ .

## ВИСНОВКИ

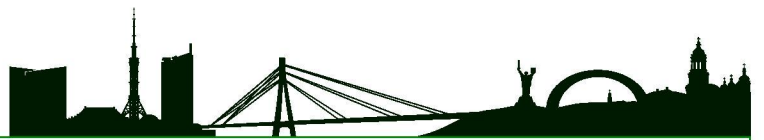
Аналіз обрисів зафіксованих геодезичним методом вертикальних деформацій будинків старої забудови, показав, що для об'єктивного підходу слід виконати апроксимацію отриманих даних за рівняннями різних порядків. Слід вибрати зі всього набору рівнянь апроксимації ті, які мають найбільшу кореляційну залежність і більш логічно описують і характеризують деформований стан окремої будівлі та групи будівель в межах старої забудови. Отримані графічні обриси фактичних деформацій окремих будівель в межах груп будівель дали можливість визначити порядок їх забудови (див. номери на плані групи будинків на рис. 1).

Запропонований метод підходу до визначення фактичних деформованих схем взаємовпливу будинків та основ для визначення фактичного технічного стану їх каркасів, не потребує на перших етапах обстеження виконання тривалих теоретичних розрахунків розподілу вертикальних нормальних напружень в плані та по глибині основи.

## ЛІТЕРАТУРА

- Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд: ДБН В.2.1-10:2009 [чинний від 2009.01.07]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 82с. – (Державні будівельні норми України).





# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК “ЛИРА”

УДК 69:624.012.45

АВТОР

**ЕМЕЦ Е.В.**, доцент Донбасского государственного технического университета, г. Алчевск, Украина

АННОТАЦИЯ

*Наведено результати досліджень НДС крупнопанельної багатопверхової будівлі на нерівномірно деформованій основі (при замочуванні ґрунту)*

*Приведены результаты исследования НДС крупнопанельного многоэтажного дома на неравномерно деформируемом основании (вследствие замачивания грунта).*

*The results of research intense-deformed condition building on interacting with non-uniformed of basis into account change rigid of basis and non-uniformed deformations of basis are presented.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

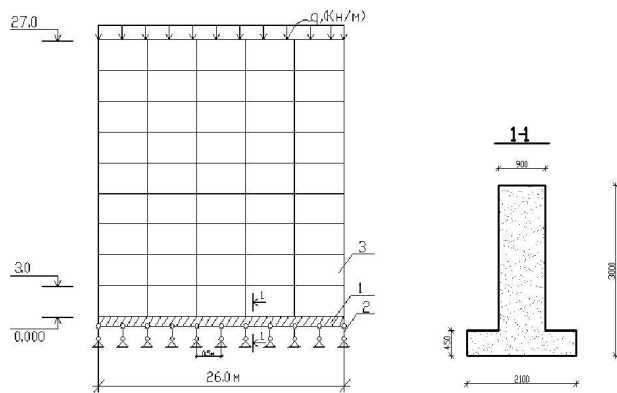
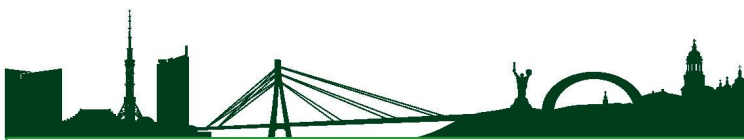
здание на деформируемом основании, переменная жесткость основания, неравномерные перемещения основания

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Строительство зданий и сооружений на деформируемом основании имеет очень широкое распространение. Эксплуатационная пригодность сооружений на таком основании в большей степени зависит от достоверности расчетов и учета реальных свойств грунтов и конструкционных материалов.

Следует отметить, что в сложных инженерно-геологических условиях изменение жесткости и смещения основания проявляются в период эксплуатации сооружения, что приводит к перераспределению контактных напряжений вплоть до отрыва грунта от подошвы фундаментов. При этом внешняя нагрузка остается неизменной и эпюры контактных напряжений на любой стадии деформирования основания не меняются.

Такие задачи расчета сооружений на прочность и деформативность заставляют искать пути теоретического описания взаимодействия сооружений с основанием с целью оценки напряженно-деформированного состояния системы “основание – фундамент – верхнее строение” во всем диапазоне нагрузок воздействий. Вопросами расчета зданий в сложных инженерно-геологических условиях занимались многие отечественные и зарубежные исследователи. Принципиальные положения существующих методов расчета приведены в работах В.И. Далматова, В.К. Егунова, С.Н. Клепикова, А.А. Козачевского, А.А. Петракова, П.П. Шагина и др.



1 – балка, моделирующая работу фундамента;  
2 – конечный элемент, моделирующий работу грунтового основания;  
3 – элемент, моделирующий работу наземной конструкции здания

Рис. 1. Расчетная схема здания на неравномерно деформируемом основании

Цель расчета. С помощью вычислительного комплекса «Лира 9.4», основанного на методе конечных элементов, построить расчетную схему системы «здание-фундамент-основание». Оценить напряженно-деформированное состояние конструкций здания при различных высоте ( $h_y$ ), и длине ( $l_y$ ) уступов. Определить предельные размеры уступов, которые может выдержать здание до момента исчерпания несущей способности конструкций или появления недопустимых по условиям эксплуатации деформаций.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для исследования НДС крупнопанельного здания на неравномерно - деформируемом основании было принято девятиэтажное крупнопанельное

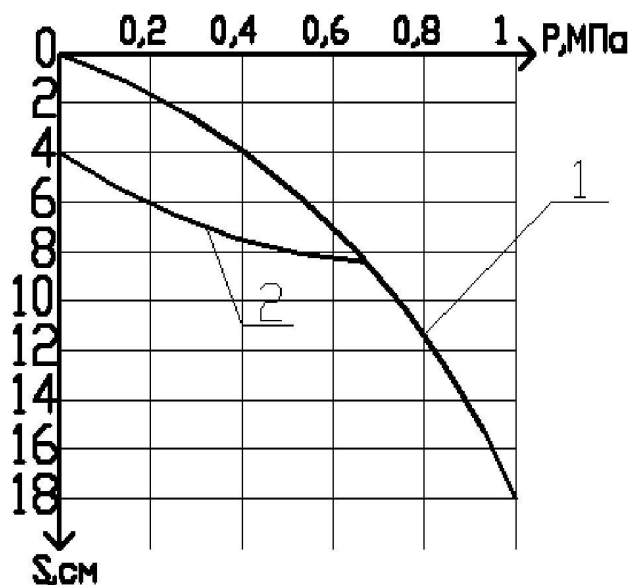


Рис. 2. Диаграмма «давление - осадка»  
1 – кривая нагружения; 2 – кривая разгрузки

здание по серии 179.

Для моделирования системы «деформируемое основание – фундамент - наземная конструкция» принята расчетная схема здания, приведенная на рис. 1, которая разбивалась на 2 системы:

- 1) основание – фундамент;
- 2) фундамент – наземная конструкция.

Основные характеристики грунтового основания: грунт – суглинок; число пластичности  $I_p=0,17$ ; степень влажности  $S_r = 0,72$ ; коэффициент пористости  $e = 0,75$ ; модуль деформации при природной влажности  $E = 19$  МПа; удельный вес  $\gamma = 18,7$  кН/м<sup>3</sup> [4]. Работа грунтового основания описана диаграммой «давление – осадка», приведенной на рис. 2.

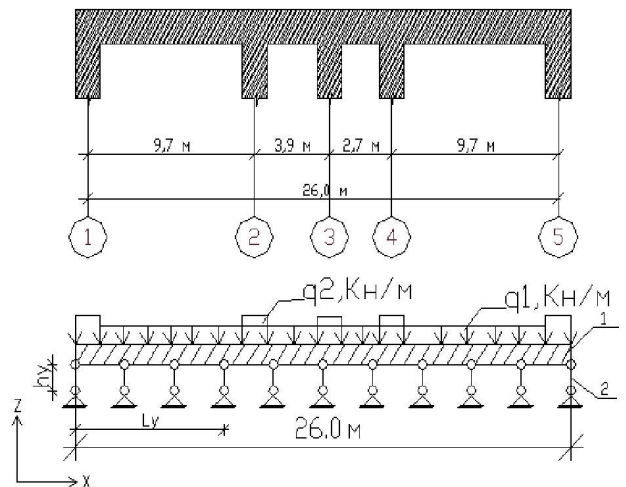


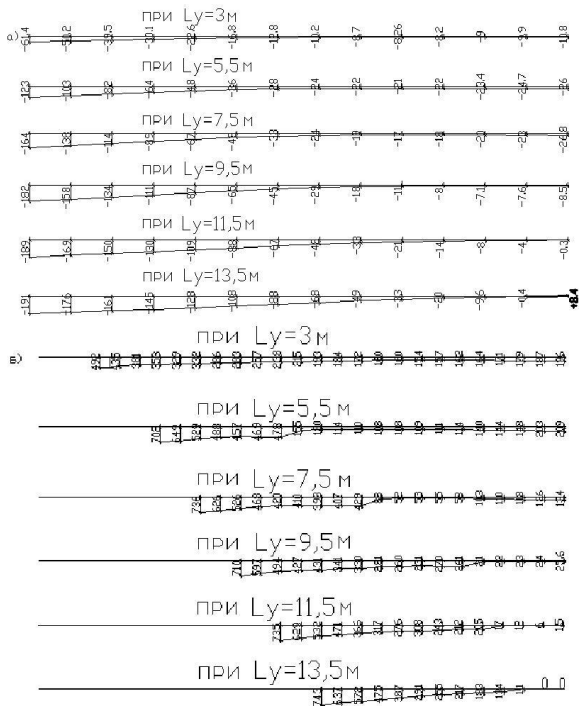
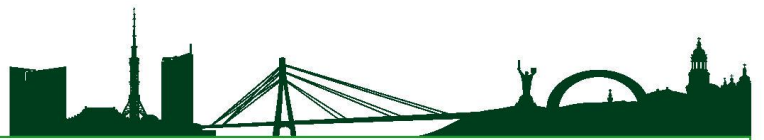
Рис. 3. Расчетная схема системы "основание - фундамент"  
 $q_1 = 350$  Кн/м – нагрузка на приопорных участках;  $q_2 = 700$  Кн/м – нагрузка в местах примыкания поперечных стен;  
 $l_y = 3; 5,5; 7,5; 9,5; 11,5; 13,5$  м – длина уступа;  $h_y = 0,132$  м – высота уступа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

На первом этапе расчета формируем расчетную схему здания на деформируемом основании, приведенную на рис. 3.

Задаем перемещение ряда элементов, моделирующих работу грунтового основания, по оси Z. Высоту уступа принимали постоянной ( $h_y=0,132$  м), длину уступа  $l_y$  задавали пошагово, равной 3; 5,5; 7,5; 9,5; 11,5; 13,5 м. В результате расчета были получены значения просадок фундаментов и напряжение в стержнях, моделирующих грунтового основания при различных размерах уступа, приведенных на рис. 4.

Результаты расчета показали, что при  $l_y$ , не превышающем 11,5 м и  $h_y = 0,132$  м, нарушение кон-



**Рис. 4.** Эпюры просадок и напряжений в грунтовом основании  
 а) Эпюра просадок фундамента  $S$ , мм  
 б) Эпюра напряжений в грунте  $N$ , кН/м

такта фундамента с грунтом по всей длине здания не происходит. Но уже при  $l_y = 5,5$  м в левой части здания осадка фундамента превышает предельно допустимые значения, т.е.  $S \geq [S_u]$ , (рис. 4а).

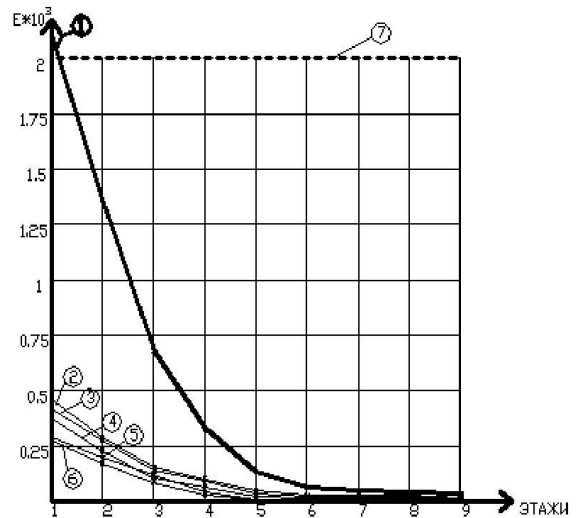
Однако это не приводит к существенным деформациям в элементах наземной конструкции здания (рис. 5, кривая 1 – 6).

Существенный рост деформаций в стеновых панелях 1 и 2 этажей здания возникает при  $l_y = 13,5$  м (рис. 5, кривая 7).

При этом относительные деформации в панели 1-го этажа в правой части здания  $\epsilon = 0,0022 > [\epsilon]$ .

## ВЫВОДЫ

В результате расчета установлено, что наибольшие деформации, превышающие предельно допустимые значения, возникают в правой части здания при  $l_y = 13,5$  м. При этом в правой части здания происходит нарушение контакта фундамента с грунтовым основанием, что, в свою очередь, приводит к потере несущей способности ряда элементов здания.



**Рис. 5.** Изменение относительных деформаций в стеновых панелях здания  
 1 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 13,5$  м  
 2 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 11,5$  м  
 3 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 9,5$  м  
 4 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 7,5$  м  
 5 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 5,5$  м  
 6 - деформация всего здания, при значениях  $l_y = 3,0$  м  
 7 - предельно допустимые деформации

## ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий А.С. Лира 9,4. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: справочно-теоретическое пособие / Городецкий А.С. – М. - К.: ФАКТ, 2003. – 104 с.
2. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2 – 2: 2006. – К.: Минстрой Украины, 2006. – 76 с.
3. Лантух–Ляшенко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: учебное пособие / А.И. Лантух–Ляшенко. – К.–М., 2002. – 312 с.
4. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / Клепиков С.Н. - К.: НИИСК, 1996. – 202 с.



# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДИНАМІКИ БЛОКОВИХ СЕРЕДОВИЩ ВІД ЇХ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

УДК 550.34

## АВТОРИ

**БЕЛІНСЬКИЙ І.В.**, кандидат фізико-математичних наук, завідувач відділом інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України м. Київ, Україна

**ЛЕМІШКО В.А.**, науковий співробітник інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України м. Київ, Україна

## АНОТАЦІЯ

*Подано експериментальні результати логарифмічного декременту і добротності власних коливань блока в залежності від статичного навантаження*

*The paper exposes experimental results for logarithmic decrement and quality of block proper oscillations under static loads.*

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

експериментальне дослідження, блокове середовище, солітон, власні коливання, декремент затухання

Реальні геосередовища [1] формуються блоками різних розмірів та форми, які контактують між собою через матеріали, що заповнюють тріщини між блоками. Серед середовищ, що заповнюють тріщини між блоками, часто зустрічаються: повітря, пісок, вода та інші. Отже, визначення осереднених силових та кінематичних параметрів руху таких геосередовищ при динамічному навантаженні є досить складною і одночасно актуальною проблемою.

Процедура осереднення силових та кінематичних параметрів хвильового руху блокових геосередовищ базується на експериментальних даних параметрів хвильового руху на контакті між блоками, а також на особливостях хвильового руху (відгуку) окремого блока геосередовища.

Отже, метою експериментальних досліджень, які аналізуються в даній роботі, є визначення в експерименті власних коливань, логарифмічних декрементів їх згасання та добротності гранітного блока в залежності від його статичного навантаження.

Для експериментальних досліджень було виготовлено блоки з граніту Богуславського родовища. Розміри блоків граніту були: 499x57x69 мм (брус).

Фізико-механічні властивості граніту Богуславського кар'єру описані в попередніх досліджен-

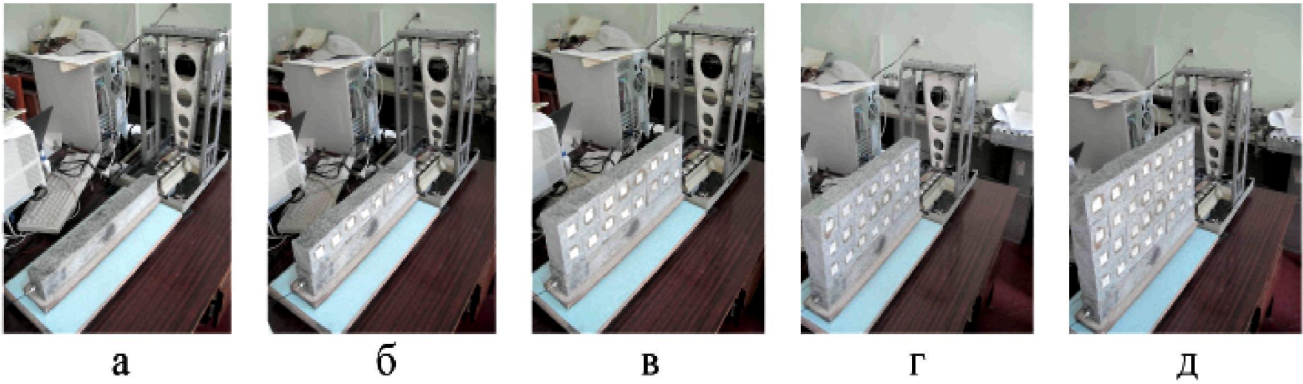
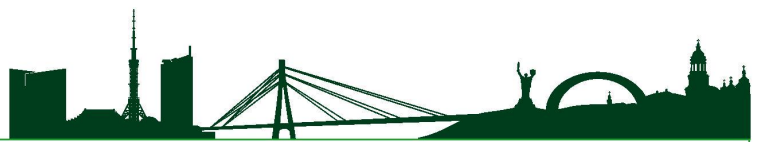


Рис. 1. Фото експериментів при статичному навантаженні блока.

нях [2], де цей блок підвішувався в повітрі та розташовувався в різних середовищах.

### ПОСТАНОВКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Постановка експерименту ілюструється фотографіями, що наведені на рис. 1.

Гранітний стрижень розташовувався на шарі піску товщиною 17 мм. Статичне навантаження стрижня здійснювалось розташуванням на його поверхні гранітних блоків, як це показано на фотографіях (рис. 1).

Таким чином, сила статичного навантаження  $F_0$

відносно до ваги стрижня  $mg$  складала  $F_0/mg : 0; 1; 2; 3; 4$ .

Динамічне навантаження здійснювалось солітоном, який формувався в ланцюгу 5 куль діаметром 41,25 мм після удару по ньому кулею діаметром 41,25 мм зі швидкістю 0,3 м/с, яка розташовувалась на консолі маятника згідно методики, описаній в [2].

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Типові осцилограми збурень при поздовжній трансформації солітону в брусок при статичному навантаженні наведені на рис. 2.

Екстраполяція амплітуди коливань здійснювалась по експоненті до зменшення амплітуди в  $e$  раз.

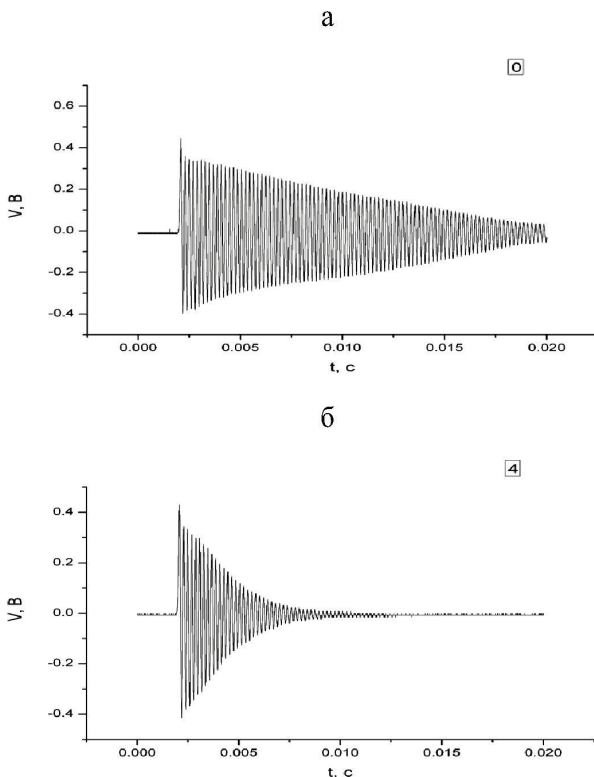


Рис. 2. Типові осцилограми збурень в гранітному стрижні після трансформації в нього солітону без статичного навантаження (а) і при максимальному навантаженні (б).

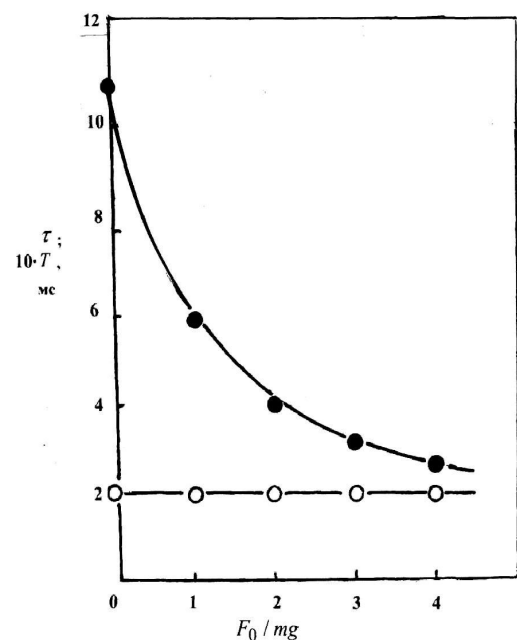


Рис. 3. Залежність часу релаксації  $\tau$  (темні кружки) та періоду особистих коливань  $T$  (світлі кружки) гранітного стрижня від його статичного навантаження



Таблиця 1. Склади модельних цементно-піщаних розчинів

Параметр	$F_0 / mg$				
	0	1	2	3	4
$\tau$ , мс	10,70	5,97	3,97	3,17	2,58
$T$ , мс	0,299	0,200	0,200	0,200	0,200
$\delta$	0,019	0,034	0,050	0,063	0,078
$Q$	165	92	63	50	40

$$A(T) = A_0 e^{-\frac{\delta t}{T}}, \quad (1)$$

де  $A_0$  і  $A(t)$  – амплітуда коливань відповідно в початковий момент часу та в момент  $t$ ;

$T$  і  $f = 1/T$  – період та частота особистих коливань, відповідно;

$\delta$  – логарифмічний декремент згасання особистих коливань.

Результати експериментальних досліджень ілюструються даними, наведеними в табл. 1, а також на рис. 3 та 4.

На рис. 3 наведено залежності періоду особистих коливань ( $T$ ) гранітного стрижня та їх часу релаксації ( $\tau$ ) від величини статичного навантаження  $F_0/mg$ . Час релаксації особистих коливань гранітного стрижня визначався згідно осцилограми, коли амплітуда коливань зменшувалась в  $e$  раз.

Як бачимо з наведених даних період особистих коливань ( $T$ ) стрижня не залежить від величини статичного навантаження стрижня, а от час релаксації ( $\tau$ ) зменшується майже в чотири рази при збільшенні статичного навантаження в чотири рази.

Дані, наведені на рис. 4, ілюструють залежності логарифмічного декременту згасання ( $\delta$ ) особистих коливань стрижня та його добротності  $Q$  від величини статичного навантаження.

Згідно з результатами досліджень логарифмічний декремент ( $\delta$ ) особистих коливань гранітного стрижня збільшується майже в чотири рази при збільшенні в чотири рази статичного навантаження гранітного стрижня. Це екстраполюється наступною лінійною залежністю:

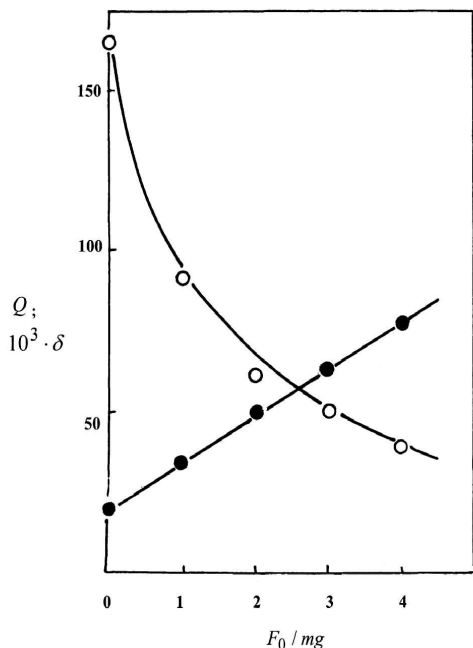


Рис. 4. Залежність логарифмічного декременту згасання  $\delta$  (темні кружки) та добротності  $Q$  (світлі кружки) гранітного стрижня від його статичного навантаження

$$\delta = 19,00 \cdot 10^{-3} + 14,75 \cdot 10^{-3} F_0 / mg. \quad (2)$$

Добротність  $Q$  гранітного стрижня, як коливної системи, зменшується в 4 рази при збільшенні його статичного навантаження в 4 рази.

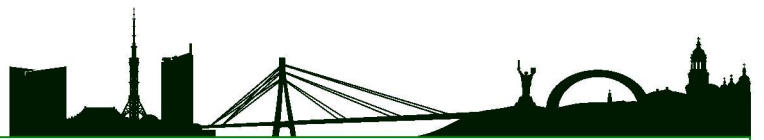
## ВИСНОВКИ

Таким чином, на підставі проведених експериментальних даних можна зробити наступні висновки:

1. Період особистих коливань гранітного стрижня не залежить від його статичного навантаження.
2. При збільшенні статичного навантаження гранітного стрижня в 4 рази логарифмічний декремент лінійно залежить від його величини.
3. Час релаксації особистих коливань гранітного стрижня та його добротність зменшується в 4 рази при збільшенні в 4 рази статичного навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Родионов В.Н. Основы геомеханики / Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. – М.: Недра, 1986. – 301 с.
2. Белінський І.В. Експериментальне дослідження динаміки блокових геосередовищ / Белінський І.В., Лемешко В.А. // Сб. Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XXIII Межд. научн. школы. – Симферополь: Таврический нац. ун-т, 2013. – С.26-30.



# ДО РОЗРАХУНКУ ВИТРИВАЛОСТІ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕФОРМАЦІЙНИХ КРИВИХ УТОМИ І ПАРАМЕТРА ЕНЕРГОПОГЛИНАННЯ МАТЕРІАЛУ

УДК 624.014; 620.191

## АВТОР

**ДАВИДЕНКО О.І.**, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

**ДАВИДЕНКО М.О.**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України

## АННОТАЦІЯ

*У статті наведені пропозиції щодо обчислення розрахункового опору втоми конструкцій, виготовлених із сталей з різним ресурсом пластичності на основі деформаційних кривих втоми і залежності коефіцієнта енергопоглинаємості від кількості циклів навантаження.*

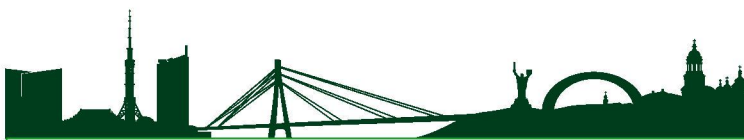
*The article presents the proposal for the calculation of the estimated fatigue resistance of structures made of steel with a variety of resources on the basis of plasticity deformation curves of fatigue and energy parameter function of the number of load cycles.*

## КЛЮЧЕВІ СЛОВА

витривалість, крива втоми, ресурс пластичності сталі

Методи розрахунку сталевих конструкцій та їх елементів (підкранових балок, балок робочих площадок, елементів конструкцій бункерних і розвантажувальних естакад та ін.), відповідно до норм проектування орієнтовані на виконання розрахунків на витривалість і міцність з урахуванням крихкого руйнування. Однак значення межі витривалості, що обчислювана згідно норм [1], при перевищенні амплітудою межі текучості для елементів у стані постачання і при циклічному навантаженні вимагає обмеження. Результати розрахунків, виконаних на кафедрах металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА, ДонГАСА відповідно до СНиП II-23-81\* «Сталеві конструкції», СНиП 2.05.03.84 «Мости і труби», Eurocode свідчать, що жодна з перерахованих методик не забезпечує розрахунку на витривалість всіх груп елементів без перенапруження, включаючи розрахунки прокатних балок по основному металу, з'єднання внахлест, трубчасті з'єднання при різних коефіцієнтах асиметрії циклу. При цьому в умовах знакозмінного навантаження відсоток перенапружень зростає. Наведені результати розрахунків на витривалість свідчать про необхідність вдосконалення методів визначення розрахункових опорів матеріалу конструкцій при циклічному навантаженні. Так в [2] значення межі витривалості для груп елементів визначається за формулою, що включає коефіцієнт асиметрії напружень, а характеристики значень середньоквадратичного відхилення межі витривалості приймаються з урахуванням величини залишкових напружень.

Вданий час покращилася якість металу, намітилася тенденція до використання високоміцних сталей



при проектуванні конструкцій. Все це дає підставу для впровадження сучасних методик визначення допустимого максимального напруження при розрахунку на витривалість.

У дослідженнях [3] показано, що циклічне навантаження призводить до вироблення деформаційного ресурсу при різному енергопоглинанні матеріалу, що характеризується різною площею під кривою деформування. При рівних значеннях межі текучості і межам міцності при різній кількості циклів навантаження спостерігається значне розходження в ресурсі пластичності і рівні енергопоглинання матеріалу. В даних дослідженнях в якості параметра, що комплексно характеризує енергопоглинання матеріалу і пружну енергію, що накопичується в матеріалі, прийнято відношення питомої роботи пластичної деформації до відповідної енергії пружних деформацій в момент втрати стійкості пластичного деформування, що відповідає моменту досягнення межі міцності [4].

$$\beta_{pl} = W_p / W_e \quad (1)$$

При використанні даного підходу коефіцієнт енергопоглинання при циклічному навантаженні може бути обчислений на основі деформаційних кривих втоми. За умови кусочно-лінійної апроксимації діаграми деформацій " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " і підстановки в рівняння (1) деформаційних кривих втоми коефіцієнт енергопоглинання може бути обчислений за формулою:

$$\beta_{pl,N} = \frac{E \cdot \varepsilon_u(N) \cdot (R_u + R_y)}{R_u^2} \quad (2)$$

де  $E$  - модуль пружності;

$\varepsilon_u(N)$  - деформації, що відповідають тимчасовому опору сталі, в залежності від кількості циклів навантаження, що визначаються за деформаційних кривих втоми [3];

$R_u$  - розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, вигину

за тимчасовим опором [2];

$R_y$  - розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, вигину за межею текучості [2].

З урахуванням (2) величину розрахункового опору утоми можна визначити за формулою:

$$R_v^n = \{R_v + f(\beta_{pl, N}) \cdot [R_u - R_v]\} \cdot \gamma_v \quad (3)$$

де  $R_v$  - розрахунковий опір утоми, прийнятий згідно [1], залежно від тимчасового опору сталі і групи елементів конструкцій;

$$f(\beta_{pl,N}) = \frac{\beta_{pl,N}}{2000 + \beta_{pl,N}} - \text{функція параметра енерго-}$$

поглинання;

$\gamma_v$  - коефіцієнт, що визначається залежно від виду напруженого стану і коефіцієнта асиметрії циклу напружень.

Облік кількості циклів навантаження у формулі (3) виконано за допомогою функції, що включає залежність граничних деформацій при циклічному напруженні, або значення граничних деформацій різних сталей з відповідним ресурсом пластичності при короткочасному навантаженні.

Таким чином, формула (3) в порівнянні з формулами (115-117) методики [1] дозволяє визначити розрахункові опори як при статичному навантаженні з урахуванням відмінності ресурсу пластичності сталей, що мають рівні параметри міцності, так і розрахункові опори утоми, залежно від прийнятих деформаційних кривих втоми в рівняннях (2, 3).

Порівняння результатів розрахунку опорів утоми за пропонуваною методикою і методикою [1] для різних груп елементів і сполучень у всьому діапазоні коефіцієнтів асиметрії циклу наведено на рис. 2 [5].

Особливе значення представляє використання запропонованого підходу для розрахунку енергопоглинання і опору утоми елементів конструкцій, виготовлених з високоміцних сталей, що відрізняються різним запасом деформаційного ресурсу, для яких потрібні додаткові дослідження щодо встановлення обмежень межі витривалості і розрахункових опорів утоми, встановлення нових коефіцієнтів, що враховують кількість циклів навантаження.

Вироблення деформаційного ресурсу призводить до поступового зниження в'язкості руйнування, а зменшення площі під лінійною (автомодельною ділянкою) на заключному етапі деформування після утворення тріщини призводить до зниження параметра тріщиностійкості. Зазначена обставина може бути врахована в рівнянні (2) у вигляді додаткового доданка, що характеризує зниження в'язкості руйнування в умовах циклічного, особливо, малоциклового

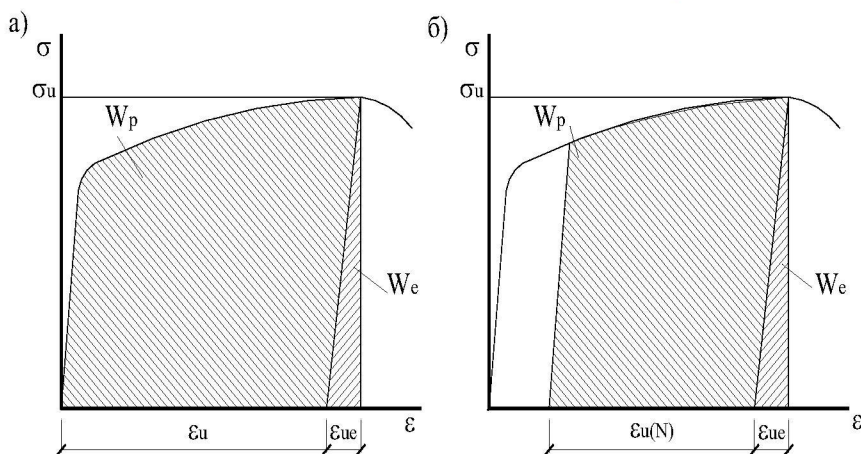


Рис. 1. До визначення коефіцієнта енергопоглинання матеріалу:

а) - діаграма деформування матеріалу в стані постачання;

б) - діаграма деформування матеріалу після (N) циклів навантаження.



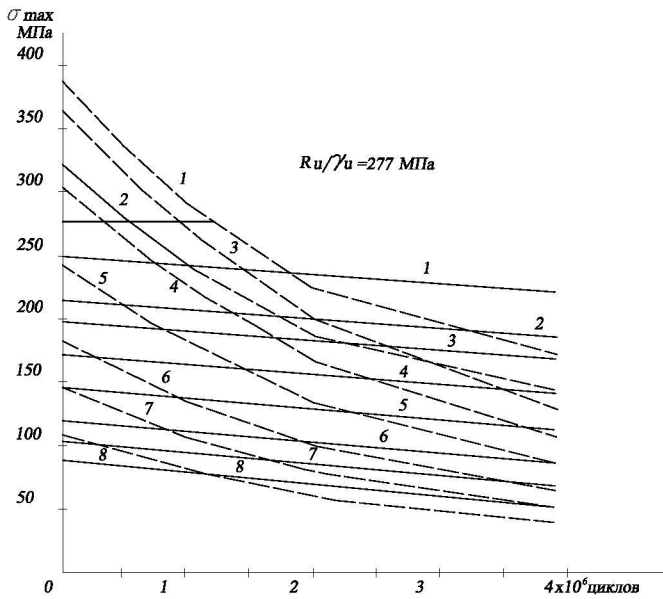
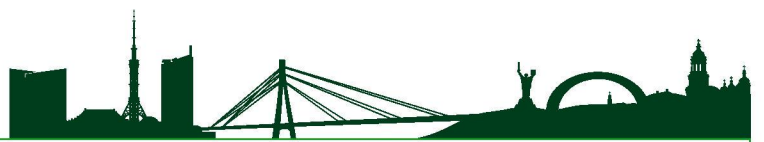


Рис. 2. Графічне порівняння меж витривалості за методикою [1] (пунктирні лінії) і пропонованою методикою (суцільні лінії) при  $\rho = 0,118$  ( $0 < \rho < 0,8$ )

го навантаження при визначенні нового параметра енергопоглинання:

$$\beta^{d}_{pl} = \frac{(R_y + R_u) \varepsilon_u(N) E + E \varepsilon_p(N) R_u}{R_u^2} \quad (4)$$

Тоді рівняння для визначення розрахункового опору сталі малоциклової утоми з урахуванням крихкого руйнування прийме вигляд:

$$R_v^d = \left\{ R_v + f(\beta^{d}_{pl, N, d}) \cdot [R_u - R_v] \right\} \cdot \gamma_t \quad (5)$$

де  $\beta_{pl, N, d}$  – функція параметра енергопоглинання в залежності від кількості циклів і величини питомої роботи руйнування.

Наведене рівняння відрізняється від рівняння для визначення розрахункового опору витривалості (3) лише новою функцією параметра  $\beta$ , яка може бути отримана на основі експериментальних даних про механічні властивості конструкційних сталей і випробувань на міцність реальних конструкцій. Рівняння (5) представляється раціональним і для розробки методики розрахунку на малоциклову утому в нормах проектування.

Значення руйнуючих амплітуд напружень з урахуванням ресурсу пластичності при заданій кількості циклів в умовах м'якого навантаження з використанням [6] визначаються за формулою:

$$\sigma_a^n = \frac{A_n \cdot E_s \cdot (1 - \eta)}{N^m} \ln \frac{100}{100 - \psi} + \frac{R_v^d}{1 + \frac{R_v^d \cdot (1 + \eta)}{R_u \cdot (1 - \eta)}}, \quad (6)$$

де  $R_v^d$  - розрахунковий опір утоми при малоцикловою навантаженні;

$$A_n = 0,16 \cdot \left( 1 + \frac{1}{1 - \frac{R_y}{R_u}} \right) \quad \text{- параметр діаграми}$$

циклічного деформування;

$\psi$  - відносне звуження зразка конструкційної сталі;

$m$  - характеристика сталі в залежності від циклічних властивостей і асиметрії циклу напружень.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, використання наведених коефіцієнтів енергопоглинання дозволяє визначати розрахункові опори утоми з єдиних позицій, що мають одне загальне фізичне обґрунтування і характеризуються зниженням ресурсу пластичності сталей і в'язкості руйнування, як при розрахунку на малоцикловою утому, витривалість при багатоцикловою навантаженні, так і при розрахунку з урахуванням крихкого руйнування. Результати порівняльного аналізу свідчать про досить диференційний підхід до визначення розрахункового опору утоми за пропонованою методикою, що не потребує обмежень в області підвищених амплітуд напружень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу: ДБН В.2.6-163:2010. – [Чинний від 2011-12-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. - V, 202 с. – (Національний стандарт України).
2. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014. - На заміну ДБН 2.6-163:2010 у частині розділу 1. - [Чинний від 2015-01-01] - К.: Мінрегіонбуд, 2014. - 219 с. – (Національний стандарт України).
3. Определение долговечности стали 20ГС в условиях пульсирующего нагружения с помощью полных диаграмм деформирования / [Байков В.П., Антипов Е.А., Глушков А.К. и др.] // Вестн. политехн. ин-та. – К.: Машиностроение. – 1991. – Вып. 30. – С. 77–84.
4. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения / [Гроценко В.Т., Лебедев А.А., Стрижало В.А. и др.]. – К.: Логос, 2000. – 571 с.
5. Давиденко А.И. Определение расчетного сопротивления выносливости на основе параметра энергопоглощаемости материала / Давиденко А.И., Псюк В.В. // Вісник Придніпр. акад. буд-ва та арх-ри. – 2002. – № 1. – С. 10–16.
6. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.



# ПРИМЕНЕНИЕ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МАЛОЭТАЖНЫХ И МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

УДК 691.002

## АВТОРЫ

**БРЫНЗИН Е.В.**, начальник отдела маркетинга, канд. техн. наук ООО ЮДК г. Днепропетровск, Украина

**ПАРУТА В.А.**, Доцент, канд. техн. наук Одесская государственная академия строительства и архитектуры г. Одесса, Украина

## АННОТАЦИЯ

*Вимоги ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» і ДБН В.1.1-12-2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» істотно міняють підхід до рішення проблеми ефективної стінної конструкції. У статті запропоновано вирішення проблеми шляхом використання автоклавного газобетону.*

*Требования ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» и ДБН В.1.1-12-2006 «Строительство в сейсмических районах Украины» существенно меняют подход к решению проблемы эффективной стеновой конструкции. В статье предложено решение проблемы путем использования автоклавного газобетона.*

*Requirements of SBN V.2.6-31:2006 «Thermal isolation of buildings» and SBN V.1.1-12-2006 «Building in the seismic districts of Ukraine» substantially change the decision of problem of an effective wall construction. In the article solution of problem by the use of autoclave aerocrete concrete is offered.*

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

энергосбережение, строительство в сейсмических районах, автоклавный газобетон

На теплоснабжение зданий и сооружений в Украине ежегодно расходуется более 4,4 млн. тонн условного топлива, что составляет около 45% от общего расхода энергоресурсов в стране. Поэтому проблема энергосбережения чрезвычайно важна и относится к вопросам национальной безопасности.

В связи с этим, актуальным является разработка конструктивных решений ограждающих конструкций, отвечающих современным требованиям по теплозащите, пожаробезопасности, санитарным нормам, надежности в эксплуатации и долговечности, пригодности для возведения в сейсмических районах.

Требования ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» и ДБН В.1.1-12-2006 «Строительство в сейсмических районах Украины» существенно меняют подход к решению этой задачи. С одной стороны, для увеличения термического сопротивления стены, выполненной из традиционных материалов (керамический и силикатный кирпич, керамзитобетон), необходимо увеличить ее толщину до 1,2...2,5 метра (табл. 1). Однако это приведет к значительному увеличению массы кладки до 1150...4500 кг/м<sup>2</sup> и здания в целом, что неприемлемо при строительстве в сейсмических районах Украины, не говоря уже о высокой стоимости таких конструкций (табл. 1).

Применение многослойной стеновой конструкции, в которой механическую нагрузку воспринимает стена, выполненная из кирпича либо керамзитобетонных блоков, а необходимое термическое сопротивление обеспечивают теплоизоляционные материалы (пенополистирольные, минераловатные и др.), не совсем эффективно. Недостатком такого решения является сложность конструкции, достаточно большой вес и неоднородность по плотности, прочности и теплопроводности, сложность и ненадежность крепления теплоизоляционного слоя и каркаса, низкая производительность труда, повышенная стоимость (рис. 1).

Еще одним немаловажным фактором является соотношение долговечности системы утепления и стеновой конструкции. Так, например, наиболее часто используемая система «скрепленной теплоизоляции» (ССТ) имеет в Германии гарантийный срок эксплуатации 30 лет, а при низком качестве работ, присущем нашему строительству, он еще сократится. Это означает, что за период эксплуатации здания (100...150



Таблица 1. Характеристики стеновой конструкции

Характеристика стенового материала	Вид стенового материала					
	керамзитобетон	кирпич керамический пустотелый	кирпич силикатный полнотелый	кирпич силикатный пустотелый	известняк ракушечник	газобетон автоклавный
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1000	1400	1800	1400	1400	300...600
Теплопроводность, Вт/м·К	0,41	0,58	0,76	0,64	0,58	0,11...0,16
Термическое сопротивление (R) стены, при традиционных толщинах:						
-толщина, м	0,35	0,51...0,62	0,51...0,62	0,51...0,62	0,4	0,375...0,5
-R, м <sup>2</sup> ·К/Вт	1,02	1,04...1,23	0,84...0,98	0,96...1,13	0,85	3,1...4,5
Толщина стены, м, при термическом сопротивлении (R <sub>n</sub> ), м <sup>2</sup> ·К/Вт						
R <sub>n</sub> =2,8	1,15	1,62	2,13	1,79	1,69	0,36...0,79
R <sub>n</sub> =3,3	1,35	1,9	2,5	2,11	1,91	0,43...0,86
Масса м <sup>2</sup> стены, кг, при термическом сопротивлении (R <sub>n</sub> ), м <sup>2</sup> ·К/Вт						
R <sub>n</sub> =2,8; R <sub>n</sub> =3,3	1150 1350	2268 2660	3834 4500	2506 2954	2268 2660	108...438 129...480

лет) будет произведено несколько капитальных ремонтов стеновой конструкции. Это приведет к увеличению эксплуатационных и энергетических затрат, так как для производства новых материалов, устанавливаемых при капитальном ремонте, тоже будут затрачены энергоресурсы.

Оптимальным является использование стеновой конструкции из автоклавного газобетона. Это позволяет решить проблему энергосбережения как при производстве стенового материала, так и при эксплуатации зданий, снизить материалоемкость сооружений и себестоимость строительства. Поэтому решением Кабинета Министров Украины от 26 мая 2004 года № 684 принята «Программа развития производства ячеистобетонных изделий и их применение в строительстве на 2005-2011 годы» [1]. Это привело к тому, что производство автоклавного газобетона в Украине неуклонно возрастает, а годовой объем составляет 3 млн. м<sup>3</sup>.

Энергоемкость производства ячеистобетонных стеновых блоков в 2,0 раза меньше, чем для производства керамзитобетонных панелей и в 1,8...2,7 раза меньше, чем для производства камней и кирпича керамических. При толщине 0,4...0,5 м обеспечивается термическое сопротивление 3,1...4,5 м<sup>2</sup>·К/Вт, достаточное для всех регионов Украины (табл. 1), а расход

тепловой энергии при эксплуатации таких зданий меньше на 40...45% [2]. Если учесть, что объем газобетона в стеновой конструкции может составлять 70...100%, то наращивание объемов их производства позволит существенно снизить общие трудозатраты и стоимость строительства, рыночную стоимость жилья при одновременном обеспечении новых нормативных показателей теплозащиты зданий [3].

Газобетон имеет малую среднюю плотность и теплопроводность, обладает высокой теплоаккумулирующей способностью, достаточной прочностью. Не горит и не поддерживает горение, не содержит горючих компонентов, при горении не выделяет токсичных веществ, в условиях пожара сохраняет в течение длительного времени целостность и несущую способность. Материал экологически чист, коэффициент экологичности равен 2. Для сравнения у дерева 1, керамического кирпича 10, содержание естественных радионуклидов в 10 раз ниже нормы и соответствует самым строгим санитарно-гигиеническим требованиям.

Физико-механические свойства автоклавного газобетона позволяют использовать его для возведения жилых и гражданских зданий различной этажности и назначения. Здания с несущими стенами из него целесообразно возводить высотой 3-5 этажей. При большей этажности, необходимо выполнять самонесущие стены, поэтажно опертые на несущий каркас. Это является самым технологичным вариантом для многоэтажного каркасно-монолитного строительства. Весьма эффективен газобетон, применяемый в высотных зданиях в сейсмических районах, за счет эффекта пропорционального снижения веса зданий в несколько раз и сейсмической нагрузки на фундамент и грунт.

Эффективным является применение и в малоэтажном строительстве, где он может комплексно использоваться в конструкциях наружных и внутренних стен, перегородок, перекрытий, покрытий, перемы-

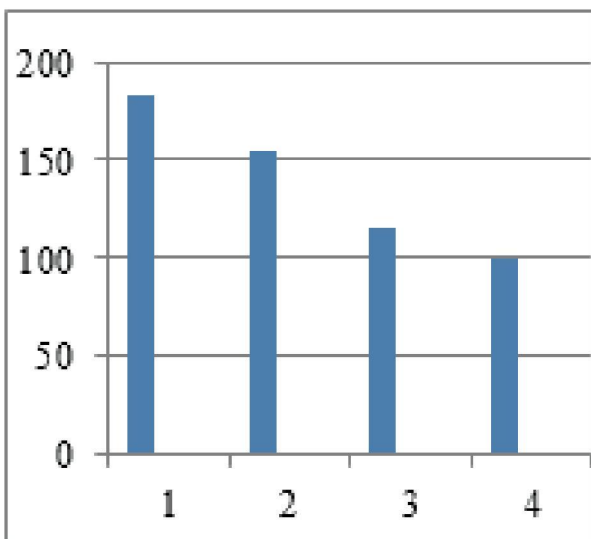
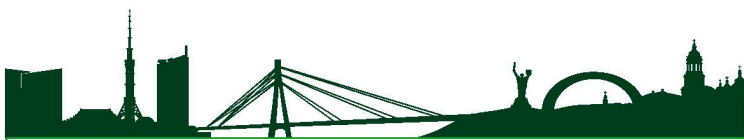


Рис. 1. Затраты на возведение стен, %:

1 - кирпич керамический пустотелый с ССТ; 2 - кирпич силикатный полнотелый с ССТ; 3 - блоки из известняка ракушечника с ССТ; 4 - автоклавный газобетон.



чек и др. Малоэтажные жилые дома имеют наибольшие удельные теплотери, прямо пропорциональные отношению суммарной площади поверхностей теплообмена к внутреннему отапливаемому объему. Поэтому в таких домах наиболее эффективны ограждающие конструкции из автоклавного газобетона. Строительство малоэтажных зданий из ячеистобетонных блоков признано во всем мире самой современной и эффективной технологией возведения жилья. При его использовании обеспечивается архитектурная выразительность здания, вариантность, полифония, он дает возможность придавать любую форму и внешний вид дома.

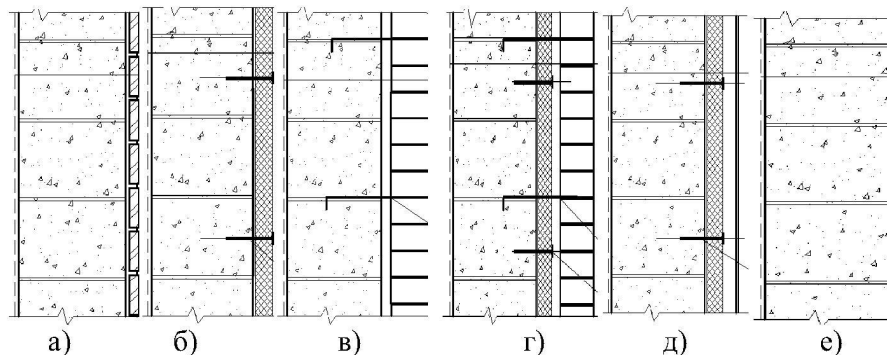
Стоимость строительства домов из ячеистого бетона ниже стоимости строительства из древесины, кирпича и других стеновых материалов. Сроки возведения малоэтажных домов значительно сокращены. Технология возведения проста, с высокой производительностью и малыми затратами. Применение блоков из ячеистого бетона в стенах зданий вместо кирпича сокращает в 1,4...2,0 раза трудоемкость строительства [3].

Следует отметить, что на начальном этапе применения автоклавного газобетона со средней плотностью 400...600 кг/м<sup>3</sup>, строители и проектировщики испытывали некоторые трудности. Не была разработана нормативная документация, конструктивные решения стен, системы их отделки. Инициатором по решению этой проблемы явилась Всеукраинская ассоциация производителей автоклавного газобетона (ВАОГ). Были привлечены ведущие организации и специалисты. Для стен из автоклавного газобетона были разработаны различные конструктивные решения и системы отделки: облицовка кирпичом, керамической плиткой, навесной вентилируемый фасад и др. (рис. 2) [4-10].

К проблемам, которые сдерживают применение автоклавного газобетона в сейсмических районах Украины, относятся недостаточная нормативная база, проработка узлов и элементов зданий. Поэтому необходимо вновь объединить усилия для решения этой проблемы. Целесообразным считаем привлечение Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, так как это общегосударственная проблема и игнорирование ее чревато серьезными последствиями.

## ЛИТЕРАТУРА

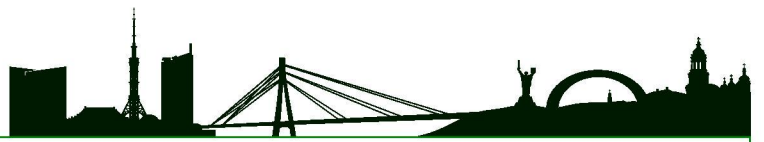
1. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 р. №684 «Програма розвитку ви-



**Рис. 2.** Конструктивные решения и системы отделки стен из автоклавного газобетона: а) облицована плиткой керамической; б) с тонкослойной системой утепления; в) облицована кирпичом с вентилируемым воздушным зазором; г) облицованная кирпичом с дополнительной теплоизоляцией; д) с «навесным вентилируемым фасадом»; е) однослойная стена отделанная штукатуркой

робництва ніздрюватобетонних виробів та їх використання у будівництві на 2005-2011 роки» // Строительные материалы и изделия. – 2004. - №4. - С. 34 - 37.

2. Чернышов Е.М. Эффективность применения ячеистого бетона в жилищном строительстве / Чернышов Е.М., Акулова И.И., Кухтин Ю.А. // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. - № 3. - С. 29-32.
3. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / [Галкин С.А., Сажнев Н.П., Соколовский А.В., Сажнев Н.Н.]. - Минск: НП ООО "Стринко", 2006. – 458 с.
4. Технические решения стен многоэтажных зданий из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. - Киев, 2011. – 189 с.
5. Посібник з проектування малоповерхових будівель з автоклавного бетону з альбомом технічних рішень. - Киев, 2011. – 163 с.
6. Парута В.А. Руководство по проектированию и возведению зданий с использованием изделий марки UDK GAZBETON / Парута В.А., Брынзин Е.В. - Днепропетровск, 2010. - 216 с.
7. Парута В.А. Проектирование по системе Итонг / Парута В.А., Маркевич П. - Одесса, 2008. - 120 с.
8. Парута В.А. Проектирование и возведение зданий из ячеистого бетона (автоклавного газобетона). Справочник строителя и проектировщика. Том 1 / Парута В.А. – Одесса, 2010. - 100 с.
9. Парута В.А. Отделка зданий и сооружений возведенных из автоклавного газобетона / Парута В.А., Брынзин Е.В., Сиротин О.А. // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. – М., 2013. - №4. - С. 36-43.
10. Отделка фасадов зданий сооружений возводимых из автоклавного газобетона / [Парута В.А., Брынзин Е.В., Гайденок Ю.А., Демешко Е.И.] // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. - К.: НИИСМИ, 2011. - №40. – С.140-146



# ЗАХИСНІ ОРГАНО-СИЛКАТНІ КОМПОЗИЦІЇ

УДК 624.016;678.066

## АВТОРЫ

**СЛІСЕНКО О.В.**, Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України м. Київ, Україна

**БЕЙ І.М.**, Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України м. Київ, Україна

**БУДЗІНСЬКА В.А.** Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України м. Київ, Україна

## АННОТАЦІЯ

*Запропоновано метод одержання органосилікатних композицій прискороного тверднення на основі поліізоціанату та розчину силікату натрію для використання як стійких ущільнювачів та захисних покриттів для бетонних та цегляних поверхонь. Проведена оцінка впливу модифікування композицій реакційною домішкою на їх будову та основні властивості. Для одержаних композитів визначено міцність при стисканні, водопоглинання, адгезійні властивості.*

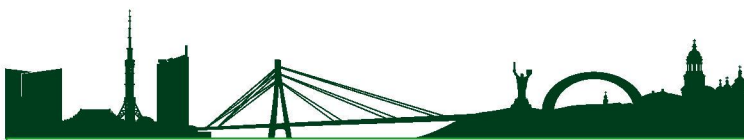
*The method of manufacturing of fast curable organic-silicate recipes based on polyisocyanate and aqueous sodium silicate for sealants and protective coatings for concrete surfaces has been proposed. An effect of modification of the composition by reactive additive on the structure and basic characteristics of the materials was evaluated. Compression strength, water sorption and adhesion behavior of composites obtained were determined.*

## КЛЮЧЕВІ СЛОВА

силікатні матеріали, органо-неорганічні композиції, модифікатор тверднення, захисні покриття

Розробка конструкційних матеріалів на основі поліізоціанату і силікату натрію з високими міцнісними характеристиками, відносною дешевизною, негорючістю є актуальним завданням впродовж останніх десятиліть [1, 2]. Завдяки високим показникам хімічної та механічної стійкості композицій на основі водного розчину силікату натрію знайшли своє застосування як ущільнювачі поверхонь мостів, стін, будівельних плит та блоків [3], для захисту та герметизації споруд з бетону або цегли, гідроізоляції басейнів, резервуарів для води, укріплення та захисту зовнішніх і внутрішніх поверхонь бетонних каналізаційних колекторів і труб від агресивних стічних вод. Силікатні композиції захищають бетони від дії води та органічних сполук за рахунок блокування пор на поверхні бетону. Проблему скорочення часу тверднення матеріалів на основі силікатів вирішують введенням в реакційну суміш каталізатора [4], який скорочує час тверднення композицій від декількох діб до декількох годин за кімнатної температури. Найчастіше в якості каталізатора використовують окремі третинні аміни або їх суміші в кількості, що не перевищує 3 % мас. Беручи за основу відомий механізм утворення аналогічних систем було запропоновано новий підхід до створення високоміцних захисних силікатних композицій. В роботі одержано органо-неорганічні композити (ОНК) на основі поліізоціанату (ПІЦ), силікату натрію (СН) та біфункціональної органосилікатної домішки, яка є реакційно здатною до обох складових композитів.

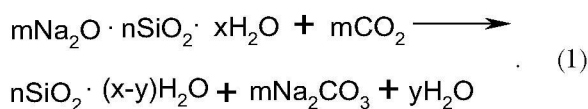
Для одержання ОНК використовували ПІЦ на основі дифенілмета-ндіізоціанату (48 мас.%) і поліізоціанату (52 мас.%,  $M_w = 1070 - 1100$ ) зі вмістом NCO-груп 31 мас. %. Розчин СН має модуль (молярне співвідношення  $SiO_2/Na_2O$ )  $2,85 \pm 0,05$ , густину  $1,49 \text{ г/см}^3$  і вміст вільної води близько 50 мас.%. В якості біфункціонального реагенту використовували 2-аміноетил-3-амінопропілтриметоксисилан (АПТС) виробництва фірми Merck KGaA. Співвідношення органічної (ПІЦ) та неорганічної (СН) складових для одержаних систем складало 60/40 мас.ч. Кількість органосилікатної домішки (АПТС) складала 0,5 мас.ч. на 100 мас.ч. суміші ПІЦ/СН. Синтез проводили змішуванням компонентів та витримкою зразків на повітрі для завершення тверднення композицій. Для порівняння було одержано композити на основі ПІЦ та СН, до яких в якості неререакційноздатної



органосилікатної домішки було додано тетраетоксисилан (ТЕОС, 0,5 мас.ч. на 100 мас.ч.).

Формування ОНК відбувалося при змішуванні ПЦЦ та СН за рахунок хімічної взаємодії аміногруп АПТС з ізоціанатними групами ПЦЦ, а також сіланольних груп, що утворюються при гідролізі алкоксильних груп АПТС з функціональними групами СН, водний розчин якого за своєю природою є колоїдним розчином полікремнієвої кислоти. При формуванні органонеорганічної системи також спостерігається перебіг реакцій ізоціанатних груп з водою з утворенням полісечовини, що є типовим для композитів даного складу.

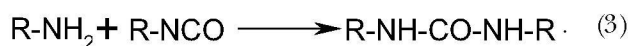
Процес силіцифікації при твердненні силікатних композицій, який ініційований  $\text{CO}_2$  повітря, можна представити за схемою (1) [5]:



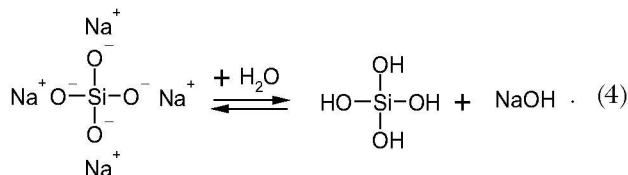
Гель, що утворюється в результаті конденсації полікремнієвої кислоти, являє собою мікрогетерогенну систему, що складається з губчастої твердої фази з молекулами води в її порах. Таким чином, гель можна віднести до класу гідрогелей або, що більш точно, до гідро/ксерогелей (в залежності від вмісту води). При змішуванні СН з ПЦЦ відбувається процес, який спрощено можна представити у вигляді реакції,



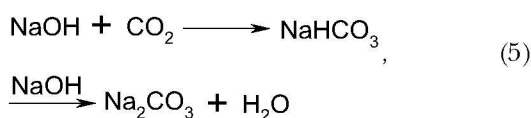
яка далі веде до утворення полісечовин в результаті взаємодії аміно- з ізоціанатними групами складових (процес швидкий та екзотермічний)



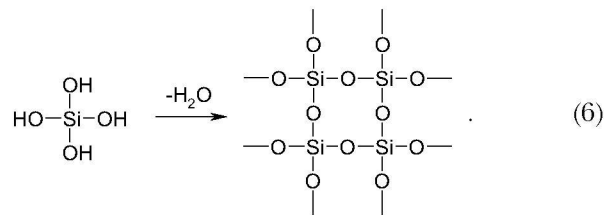
При твердненні органосилікатних композицій відбувається низка одночасних процесів, зокрема гідроліз натрієвої форми полікремнієвої кислоти



Результатом поглинання  $\text{CO}_2$  повітря лужним продуктом реакції (NaOH) є утворення (гідро)карбонату натрію,



що веде до зрушення хімічної рівноваги в схемі (4) в бік утворення полікремнієвої кислоти. На наступній стадії відбувається конденсація полікремнієвої кислоти з утворенням силосанової сітки



Хімічну будову одержаних ОНК досліджено методом ІЧ-спектроскопії (дослідження зразків проводили на обладнанні Bruker Tensor 27 DTGS). Встановлено, що концентрація ізоціанатних груп в композиті ПЦЦ/СН/АПТС, яка визначена одразу після змішування компонентів, є майже вдвічі меншою ніж в зразку ПЦЦ/СН, та є наслідком хімічної взаємодії аміногруп АПТС з ізоціанатними групами ПЦЦ. Після витримки композитів на протязі 14...30 діб вказана різниця нівелюється в результаті тверднення.

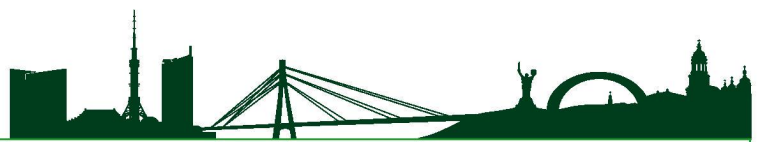
Для випробування на стискання використовували зразки циліндричної форми при відношенні висота/діаметр = 1:3 (форма і лінійні розміри зразків регламентуються ГОСТ 25.503). Вимірювання проводили на розривній машині 1925ПА-10М, зі швидкістю пересування рухливого затиску 20мм/в. і навантаженні 10 кН. Випробування крихких матеріалів на стискання закінчується руйнуванням, тому по значенню руйнуючого навантаження визначали межу міцності при стисканні за рівнянням:

$$\sigma = \frac{P}{S},$$

де  $S$  - площа поперечного перетину зразку. Також були визначені показники залишкової деформації зразків композитів ( $\Delta$ ). Результати фізико-механічних випробувань наведені в табл. 1.

Характер деформації зразків при стисканні можна віднести до вибухоподібного руйнування. Цей тип руйнування передбачає утворення складного напруженого стану передруйнування за наявності значної накопиченої енергії пружної деформації в об'ємі зразка і спостерігається переважно для крихких і міцних зразків (гірських порід, скла). Проведені випробування показали, що модифікація композиції ПЦЦ/СН органосилікатною домішкою приводить до деякого покращення міцності зразків, причому залишкова деформація зразка практично не змінюється. Використання нереакційноздатної органосилікатної домішки – тетраето-кисилану (ТЕОС) в кількості 0,5 мас.ч. на 100 мас.ч. композиції знижує міцність зразка порівняння майже у 2 рази. Старіння зразків впродовж 30 діб помітно підвищує міцність зразків ОНК. Слід зазначити, що усадка, як важливий показник конструкційних матеріалів, для всіх досліджених зразків не перевищує 23 %.

Одержані матеріали також характеризуються низькими показниками водопоглинання (табл. 1). Кількість сорбованої води визначали за стандартною методикою (ГОСТ 12730.3), експозицію зразків проводили до досягнення різниці 0,1 % у двох послідовних вимірюваннях. Час витримки зразків становив 90 діб.



Таблиця 1. Механічні та експлуатаційні характеристики ОНК

Зразок	Водопоглинання зразків, %	Час експозиції, доба					
		7		14		30	
		Р, МПа	ΔI, %	Р, МПа	ΔI, %	Р, МПа	ΔI, %
ПЦ/СН	9,8	- <sup>1</sup>	- <sup>1</sup>	42,8	37	63,7	22
ПЦ/СН/АПТС	7,7	0,4	10	41,8	34	65,4	21
ПЦ/СН/ТЕОС	7,0	- <sup>1</sup>	- <sup>1</sup>	20,1	64	35,6	31

**Примітки: 1** технічно неможливо провести вимірювання у вказаних умовах

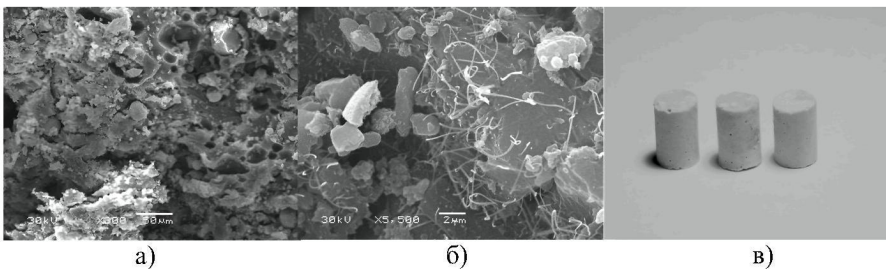


Рис. 1. Мікрофотографії ОНК складу ПЦ/СН (а) і ПЦ/СН/АПТС (б) та фото зразків ПЦ/СН/АПТС (в)

Отже, введенням АПТС до складу ОНК можна вирішити проблему скорочення часу тверднення композитів ПЦ/СН від декількох діб до кількох годин за кімнатної температури (табл. 2), що сприятиме розширенню галузей їх використання. Як було встановлено, час схоплення для ПЦ/СН становив 6 годин, тоді як введення АПТС, як пришвидшувача схоплення зменшує цей час до 30 хвилин. Використання АПТС також дозволяє підвищити механічні, в тому числі адгезійні, характеристики, зменшити водопоглинання кінцевих матеріалів (табл. 1 і 2).

Дослідження мікроструктури моноліту, що утворюється в результаті тверднення органо-неорганічної системи, проводили методом сканувальної електронної мікроскопії на приладі JEOL JSM 6060 LA (рис. 1).

Результати досліджень показали, що композиція ПЦ/СН після тверднення складається з сферичних частинок розмірами близько 30 нм, що відповідає характеристикам колоїдного кремнезему. Будова ПЦ/СН є неоднорідною, великі за розмірами частинки мають склад, близький до складу СН, лужний компонент міститься як в об'ємі, так й на поверхні композиту. Великі склоподібні частинки СН зрощені між собою

Таблиця 2. Час тверднення та адгезійні властивості ОНК

Зразок	Адгезія до (якісно/кількісно, МПа)		
	бетону	металу	склу
ПЦ/СН	++ / 3,5	++ / 3,1	++
ПЦ/СН/АПТС	++ / 3,6	++ / 3,6	++

желеподібною фазою з високим вмістом кремнезему. Введення АПТС до композиції ПЦ/СН суттєво змінює морфологію зразку, насамперед зменшує кількість сферичних частинок кремнезему та приводить до появи нових структурних одиниць у складі композиту – фібрил, які здатні виконувати зміцнюючу функцію.

## ВИСНОВКИ

Використання органосилікатного модифікатора АПТС, як пришвидшувача схоплення та промотера адгезії, в складі органо-неорганічних силікатних композицій сприятиме їх використанню як герметиків та ущільнювачів для захисту бетонних і цегляних виробів та споруд від атмосферного впливу, від дії агресивних середовищ (розчинів солей, кислих та лужних середовищ), а також як в'язучого для нестійких ґрунтів. Модифіковані композиції характеризуються покращеною міцністю при стисканні (на 2...3 МПа), значною адгезією до матеріалів конструкційного призначення, зменшеними показниками водопоглинання, а головне – малим часом схоплення (скорочення часу схоплення в 12 разів у порівнянні з не модифікованою композицією). Реакційна здатність модифікатора дозволяє йому виконувати роль компатибілізатору між органічною та неорганічною складовими композитів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Pat. 6552121, USA. Alkali silicate-polyisocyanate composites / R.A. Grisby // Publ. 22.04.2003.
2. Пат. 2184126, Российская Федерация. Связующее для теплоизоляционного материала и способ изготовления теплоизоляционного материала / Д.А. Солдатов, Л.А. Абдрахманова, А.Н. Петров, В.Г. Хозин. - опубл. 27.06.2002, Бюл. №18.
3. Sodium silicate applications for cement and concrete / [Larosa-Thompson J., Gill P., Scheetz B.E., Silsbee M.R.] // Proc. 10th Int. Congr. on the Chemistry of Cement, 1997.
4. Pat. 3607794, USA. Process of reacting organic polyisocyanate with alkali metal silicate solution / W. Abbotson, J. Macnair, F.J. Wallace, P.J. Hancox. - Publ. 21.09.1971.
5. Freitag W. Paints Coating and Solvents / Freitag W., Stoye D. Paints. - Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH, 1998. – 431 p.

# ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ В ЖУРНАЛІ «НАУКА ТА БУДІВНИЦТВО»

УДК (обов'язково, шрифт 12, звичайний)

НАЗВА ДОПОВІДІ (ВЕЛИКІ ЛІТЕРИ, ШРИФТ 16)

Прізвище, ініціали, наукова ступінь, назва організації (шрифт 12, звичайний)

**АНОТАЦІЯ:** Коротка анотація (обов'язково до кожної статті, шрифт 12, вирівнювання по ширині, 3-5 строк) (мовою статті)

**АБСТРАКТ:** (англійський текст).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** 3 – 5 слів мовою статті.

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТЕКСТУ

Формат тексту А4, ліве, праве, верхнє та нижнє поля сторінки складають 25 мм. Шрифт тексту - Times New Roman, кеглем 12 пунктів, міжрядкова відстань – одинарна, абзацний відступ – 1,25 см. Текст ніде не підкреслюється. Обсяг статті – не більше 8 сторінок.

## РИСУНКИ І ФОТОГРАФІЇ

Рисунки повинні бути розміщені в центрі рядка. Залишіть місце, що відповідає двом порожнім рядкам, між текстом і рисунком (включаючи підпис). Ніколи не розміщуйте текст поруч з рисунком (рис. 1).

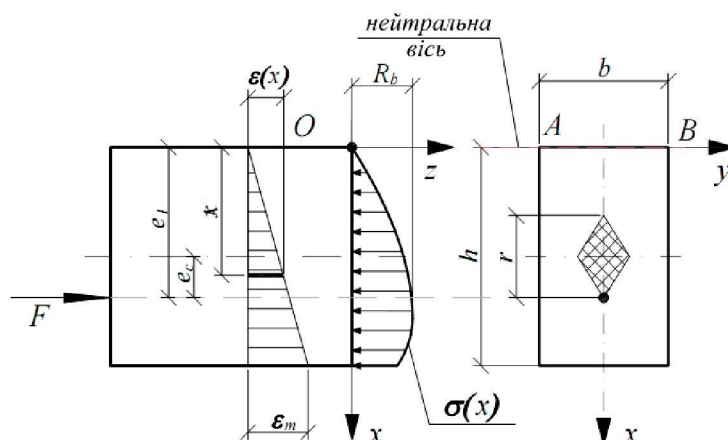


Рис.1. Розрахункова схема до визначення розмірів ядра перерізу

## ФОРМУЛИ

Формули повинні бути розміщені в центрі рядка. Нумеруйте формули послідовно і ставте номер в кінці рядка, у круглих дужках.

$$a = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{6pR_1R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)}, \quad (1)$$

де  $E$  - модуль Юнга;

$\nu_i$  - коефіцієнт Пуассона;

$p$  - рівнодіюча сил, прикладених до кожного із шарів;

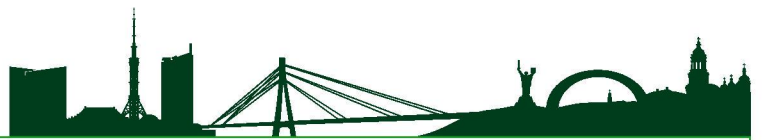
$R_1$  и  $R_2$  - радіуси кривизни поверхонь.

Приклад переліку використаних джерел згідно форми 23 ВАК України:

## ЛІТЕРАТУРА

1. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений / Поляков С.В. - М.: Стройиздат, 1978. - 311 с.
2. Матченко Т.І. Методика визначення залишкового ресурсу залізо-бетонних конструкцій сховища відпрацьованого ядерного палива на ЧАЕС / Т.І. Матченко, П.Т. Матченко, А.О. Куніченко // Будівництво України. – 2008. – № 6. – С. 33–39.
3. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. - К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Національний стандарт України).





## ИЗМЕРИТЕЛЬНО - ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «МОНИТОРИНГ»

### Состояние вопроса

Согласно действующим нормативным документам (ДБН В.1.2-5:2007) при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений должно производиться их научно-техническое сопровождение. Цель научно-технического сопровождения – решение проблем, возникающих на разных этапах жизненного цикла объекта. Основным видом работ при сопровождении объекта является мониторинг за его техническим состоянием. Для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений необходимо располагать текущей информацией о напряжениях, деформациях, перемещениях.

### Технология решения

Разработаны локальная и автоматизированная измерительно-информационные системы на основе индуктивных преобразователей с периодическим сбором измерений информации о контролируемых физических величинах, с последующим их обработкой и хранением в ЭВМ.

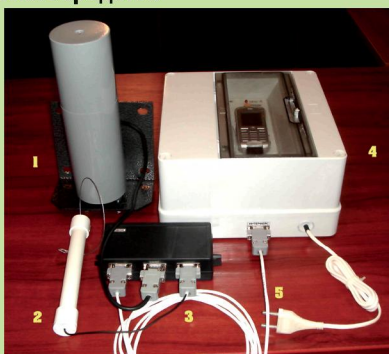
Параметры контроля системы «основание-фундамент-верхнее строение»:

- направление и величина смещения
- угол наклона
- величина раскрытия трещин

Преимуществом автоматизированной системы является возможность с помощью мобильного телефона запрограммировать период, когда система включится и опросит датчики, установленные на строительных конструкциях. Данные передаются в центр обработки информации в виде SMS сообщений.

По результатам мониторинга производится оценка напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с использованием ПК «Лира».

### Технические средства



**Рис.** Технические средства: 1 – датчик крена; 2 – датчик раскрытия трещин; 3 – измеритель индуктивности; 4 – блок сбора и передачи информации; 5 – линия связи

Технические характеристики датчиков: точность измерений – 0,001 мм; диапазон температур: – 300...+700; вес – 0,22...0,6 кг; габариты: диаметр 25...76 мм; длина – 190...246 мм; влаго- и пылезащищенные.

Измерители индуктивности обеспечивают измерение в диапазоне 100...5000 мкГн и имеют USB интерфейс, что

позволяет работать в интерактивном режиме.

Блок сбора информации обеспечивает: питание системы от сети 220 В или встроенного аккумулятора; сбор информации по линиям связи от 99 датчиков за 11...20 сек.; переход в режим энергосбережения; запоминание всех настроек в энергонезависимой памяти.

Компьютерная программа «Pendulum» позволяет для точки установки датчика рассчитывать направление, величину смещения, в т.ч. по осям X, Y в мм, а также крен. Все данные выводятся на экран в виде таблиц и графиков.

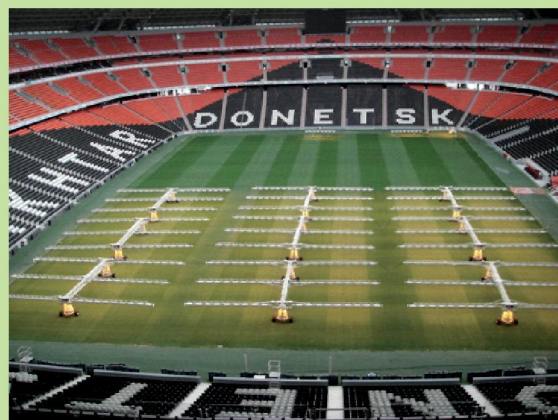


Измерительно-информационная система «Мониторинг» (ИИС) выполнена в соответствии с ДСТУ Б В.2.6 - 25 - 20003 «Автоматизированные системы для технического диагностирования строительных конструкций. Общие технические требования». В рамках разработки ИИС получено пять патентов Украины на изобретение.

Аттестация ИИС проведена Запорожским региональным государственным центром стандартизации, метрологии и сертификации (аттестат №1660 Г- 07 от 28.09.2007 г.).

### Опыт внедрения

Начиная с 2004 года научно-техническое сопровождение с помощью ИИС «Мониторинг» выполнялось на 65 объектах.



**Рис.** Объект мониторинга: Стадион «Донбасс Арена» по ул. Челюскинцев, 189е в г. Донецк

### ЗО ГП НИИСК

тел. +38061-277-13-68,  
тел./факс +38061-277-13-59  
E-mail: zoniisk@mail.ru

# ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ» (ДП НДІБК)



## НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ У БУДІВНИЦТВІ

1. Розроблення будівельних норм, державних стандартів (ДСТУ) технічних свідотств
2. Науково-технічний супровід проектування, зведення та експлуатації будівель і споруд в т.ч.: на територіях зі складними інженерно-геологічними і сейсмічними умовами; об'єктів ядерної та теплової енергетики
3. Розроблення конструктивних рішень та технології зведення доступного житла
4. Розроблення технічних рішень з підвищення енергоефективності будівельних об'єктів
5. Інжинірингові послуги:
  - оптимізація проектних рішень будівельних об'єктів або їх елементів
  - розроблення методів розрахунків будівельних конструкцій
  - розроблення технологій виготовлення будівельних конструкцій
  - розроблення рекомендацій при реконструкції будівель і споруд
  - обстеження і оцінка будівельних конструкцій; розробка паспортів технічного стану будівель та споруд
  - технічний нагляд за будівництвом
  - геодезичний контроль за будівництвом
  - сертифікація будівельних матеріалів, виробів та конструкцій
  - експертиза науково-технічної продукції, у тому числі проектних, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт
  - консультаційні послуги;
  - підготовка кадрів вищої кваліфікації через аспірантуру
6. Інженерно-геологічні, геофізичні вишукування
7. Статичне і динамічне випробування паль
8. Чисельні розрахунки будинків і споруд
9. Проектування спеціальних видів робіт в будівництві:
  - основ і фундаментів всіх типів
  - каркасів монолітних будинків
  - посилення будівельних конструкцій
10. Будівництво під ключ:
  - усунення наднормативних кренів будинків і споруд
  - зміцнення ґрунтів методом глибинного змішування
  - ущільнення ґрунтів гідровибухом
  - водопониження
  - гідроізоляція фундаментів і стін
  - посилення будівельних конструкцій
  - компенсатори для трубопроводів
11. Контроль якості матеріалів та конструкцій:
  - суцільність та довжина паль
  - міцність бетону залізобетонних конструкцій
  - ущільнення ґрунтів
  - закріплення цементом скалистих масивів
  - оцінка рівня та розробка захисту акустичного опорядження житлових, громадських, у т.ч. спеціалізованих театральних, музейних, архівних, виробничих та інших об'єктів
  - оцінка рівня теплотехнічних якостей будівельних конструкцій
12. Моніторинг будинків і споруд, в т.ч. автоматизований

**НОРМИ, СТАНДАРТИ  
ТЕХНІЧНІ СВДОТСТВА  
РОЗРАХУНКИ  
ПРОЕКТУВАННЯ  
МОНІТОРИНГ  
ОБСТЕЖЕННЯ  
ВИПРОБУВАННЯ  
ЕКСПЕРТИЗА  
КОНСУЛЬТАЦІЇ**

