НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

НДІБВ

№ 42/2023

науково-технічний журнал

Забезпечення стійкості великих будівельних конструкцій в умовах статичних і вібраційних навантажень с. 3

Розрахунок міцності бетонних елементів з тріщинами на основі спеціального розподілу напруження за краєм тріщини с. 18

Динаміка технологічного процесу в багатофункціональних модульних системах с. 43

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 21943118 43ПР від 31.03.2016 р.
Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі технічних наук зі спеціальностей 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» на підставі Наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 та 051 «Економіка», 073 «Менеджмент» на підставі Наказу МОН України від 02.07.2020 р. № 886.

Науково-технічний журнал заснований у січні 2001 року.

Співзасновниками є: Академія будівництва України (АБУ), ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП «НДІБВ») та Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА).

Видається НДІБВ 2 рази на рік.

Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Редакційна колегія:

Григоровський П. Є., головний редактор, д.т.н., с.н.с.;
Молодід О. С., заступник головного редактора, к.т.н., доцент;
Барабаш М. С., д.т.н., с.н.с.;
Бєлєнкова О. Ю., к.е.н., доцент;
Гончаренко Д. Ф., д.т.н., проф.;
Данченко Ю. М., к.т.н., проф.;
Менейлюк О. І., д.т.н., проф.;
Радкевич А. В., д.т.н., проф.;
Рижакова Г. М., д.е.н., проф.;
Стеценко С. П., д.е.н., доц.;
Тугай О. А., д.т.н., проф.;
Хижняк В. О., к.е.н., доцент.

Зарубіжні члени редколегії:

Дзвігол Хенрік, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Котовіч Януш, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Кузьор Олександра, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату
за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

www.ntinbuilding.ndibv.org.ua; editor@ntinbuilding.ndibv.org.ua; тел. +38 (066) 642 61 92
Літературний редактор Н.В. Славогородська
Технічний редактор І.В. Азанова
Художнє оформлення А.С. Юдашкіна
Комп'ютерна верстка та графіка Н.С. Кузнєцова

Затвержено до друку Вченою радою інституту, протокол № 1 від 14.02.2023 р.
Редакція не несе відповідальність за достовірність наведеної в статтях інформації
Адреса редколегії журналу:
03110, Київ, МСП, пр. В. Лобановського, 51

© НДІБВ, 2023

УДК 614.841.332
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.1

Кайдаш М.Д.
к.т.н., професор кафедри технологій зварювання і будівництва,
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
ORCID ID: 0000-0001-9378-4251

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ВЕЛИКИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ СТАТИЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. *Мета статті – визначити оптимальні, економічно обґрунтовані рішення щодо забезпечення стійкості великогабаритних будівельних конструкцій в умовах статистичних і вібраційних навантажень. Фокус дослідження – розробка адаптивних до умов України рішень із підвищення сейсмостійкості будівельних об'єктів на етапі проєктування і будівництва, що визначає новизну дослідження, оскільки аналогічні дослідні рішення сфокусовані на постфактумних заходах, що впроваджуються для реконструкції наявного будівельного фонду. Для моделювання використано український програмний продукт – ПК ЛІРА САПР. Моделювання проводиться для будівельного об'єкта масового будівництва житлового призначення, що зводиться на території сейсмоактивного регіону. Після моделювання будівельного об'єкта житлового призначення, який будується на території із сейсмічною активністю в 9 балів, розглянуто такі рішення для підвищення його сейсмостійкості: підсилення за допомогою інтеграції діафрагм та ядер жорсткості в каркас; підсилення за допомогою інтеграції металевих хрестових зв'язків у каркас; підсилення за допомогою інтеграції металевих портальних зв'язків у каркас; підсилення за допомогою комбінованого рішення. Під час моделювання сейсмічної дії на досліджуваний об'єкт установлено, що без посилення будівельні конструкції переміщуються до 1 м. У разі посилення діафрагмами та ядрами жорсткості цей показник знизився до 375 мм із наступним загасанням до нуля. У разі посилення хрестовими металевими зв'язками зазначений параметр набув значення 393 мм, проте згасання сейсмічного впливу не було. При посиленні моделі, що моделюється, портальними металевими зв'язками показник абсолютного переміщення зменшився (проти схеми без посилення) до 178 мм із поступовим загасанням до 10-20 мм. Комбіноване рішення (діафрагми жорсткості й портальні зв'язки) знизили фокусний показник до 0 на першій хвилі сейсмічного обурення. Отже, щоб максимально захистити будівельний об'єкт, який будують на сейсмоактивних територіях України, доцільно використовувати посилення комбінованим методом.*

Ключові слова: сейсмозахист, сейсмоізоляція, віброізоляція, архітектурно-конструктивні рішення, комбіновані рішення.

Постановка проблеми. Серед вібраційних навантажень, що впливають на будівельні системи й конструкції, найбільш руйнівними є землетруси. У лютому 2023 року світову спільноту вразили наслідки турецько-сирійського землетрусу [1]: 06 лютого 2023 року на півдні Туреччини, неподалік північного кордону Сирії, стався землетрус магнітудою 7,8. За цим землетрусом, майже через дев'ять годин, був землетрус магнітудою 7,5 приблизно в 59 милях (95 км) на південний захід. Станом на 09 лютого зареєстровано щонайменше 1206 афтершоків. Цей землетрус був найбільш руйнівним за останні 20 років, як і землетрус 1939 року, найпотужніший із зареєстрованих там. Загальна кількість загиблих у Туреччині й Сирії становила понад 41 000 осіб. У Туреччині внаслідок стихійного лиха загинуло щонайменше 35 400 людей. Міністерство охорони здоров'я сирійського уряду повідомило про 1414 смертельних випадків, а ООН повідомило про 4400 смертельних випадків на північному заході Сирії, який утримують повстанці. Оцінка збитків триває, проте, за даними державного інформаційного агентства Anadolu, у Туреччині зруйновано або серйозно пошкоджено щонайменше 41 791 будівлю. «Білі каски» заявили, що станом на 14 лютого на північному заході Сирії зруйновано понад 550 будівель, понад

1570 пошкоджено. На північному заході Сирії із 06 по 13 лютого після землетрусів зареєстровано понад 57 000 переміщень. Місцева влада на північному заході Сирії стверджує, що понад 11 000 сімей залишилися без даху над головою.

Більшість територій України розташовані в зоні із сейсмічністю в 5-6 балів [5]. Проте є території, що розташовані в зонах із високою сейсмічністю (8-9 балів): Закарпатська область, Одеська область та АР Крим [5–8]. Така ситуація склалася внаслідок того, що Україна межує із сейсмоактивною зоною Вранча (Румунія) [9–11]. Найсильніші землетруси, які були на території України [12, 13]: АР Крим, 1927, 8 балів; Закарпаття, 1979, 7 балів; Одещина, 1986, 7 балів.

Отже, доцільним є дослідження і розробка рішень із підвищення вібраційної сейсмічної стійкості будівельних конструкцій (особливо великогабаритних, як-от перекриття, покриття, стінові панелі тощо), що особливо актуальним в умовах збройної агресії російської федерації та подальшого післявоєнного відновлення України [14 –16].

Аналіз останніх досліджень. З-поміж останніх досліджень щодо забезпечення сейсмічного й вібраційного захисту будівель і споруд (включно з великогабаритними будівельними конструкціями й системами) слід виокремити такі релевантні публікації: M. Wu et al. [17] «щодо використання як сейсмоізоляції гумопіщаної подушки», G. C. Marano, M. M. Rosso & J. Melchiorre [18] «щодо оптимізації використання демпферних систем сейсмо-вібраційного захисту будівельних конструкцій різних споруд», T. Peng, J. Guan & Y. Wu [19] «щодо дослідження нового типу сейсмоізоляційного пристрою – двоступеневого маятникового підшипника тертя», M. Noori et al. [20] «щодо можливостей використання оптимізованих рішень з асейсмічної ізоляції архітектурного середовища», Q. Wang, Z. Zheng, H. Qiao, & D. De Domenico [21] «щодо використання як вібраційних абсорберів мультив'язких інертних демпферів» тощо.

Значну частину профільних публікацій у релевантному й актуальному наукометричному ландшафті присвячено дослідженню систем сейсмозахисту й сейсмоізоляції будівельних об'єктів, що зводяться на території сейсмоактивних районів, згідно з якими можливо виокремити такі основні класи: пасивні (елеастомірні опори, еластомірні опори зі свинцевими сердечниками, опори фрикційно-рухомого типу з плоскими горизонтальними поверхнями ковзання, кінематичні системи з опорами, що коливаються, тощо) й активні (сейсмоізолюючі елементи, що потребують застосування активної системи стеження – тензодатчиків: фрикційно-рухливі опори зі сферичними поверхнями ковзання, трикомпонентна пружинно-демпферна система тощо) системи вібросейсмічного захисту.

Втім вищеперелічені рішення мають постфактумний характер, тобто застосовуються як пасивні й активні елементи для сейсмоізоляції готових або наявних будівельних об'єктів. Водночас у фокусі цього дослідження – вивчення можливості розробки архітектурно-конструкційних рішень улаштування будівель і споруд, оптимізованих за параметром сейсмостійкості вже на початковій стадії будівництва, що є доцільним напрямам пошуків мають далекосяжні економічні наслідки та є найбільш прийнятним методом захисту будівель і споруд від землетрусів і підземних поштовхів в умовах будівельного виробництва України.

Мета роботи полягає в пошуку оптимальних, економічно виправданих архітектурно-конструктивних рішень з улаштування великогабаритних будівельних конструкцій і систем будівельних об'єктів, що зводяться в сейсмоактивних регіонах України.

Результати досліджень. Дослідження проводиться методом скінченно-елементного моделювання у вітчизняному програмному комплексі ЛІРА-САПР [22], що оптимізований до вимог розрахунку й проєктування української нормативної бази.

Як скінченно-елементну модель визначено будівельний об'єкт – житловий будинок, що будують відповідно до положень [23] з урахуванням типової (фактичної) середньої поверховості [24] містобудівних [25] і сейсмонебезпечних обмежень [5] (рис. 1).

В основі будівельної системи проєктованого об'єкта капітального будівництва в сейсмоактивному районі – залізобетонний каркас, що виконують відповідно до вимог [26]. У міжповерховій комунікації будівельних об'ємів окремих поверхів є ліфтова шахта й залізобетонні сходи (рис. 2).

Отримана в програмно-цифровому середовищі утиліти САПФІР-3D модель проєктованого будівельного об'єкта житлового призначення переводиться в скінченно-елементну

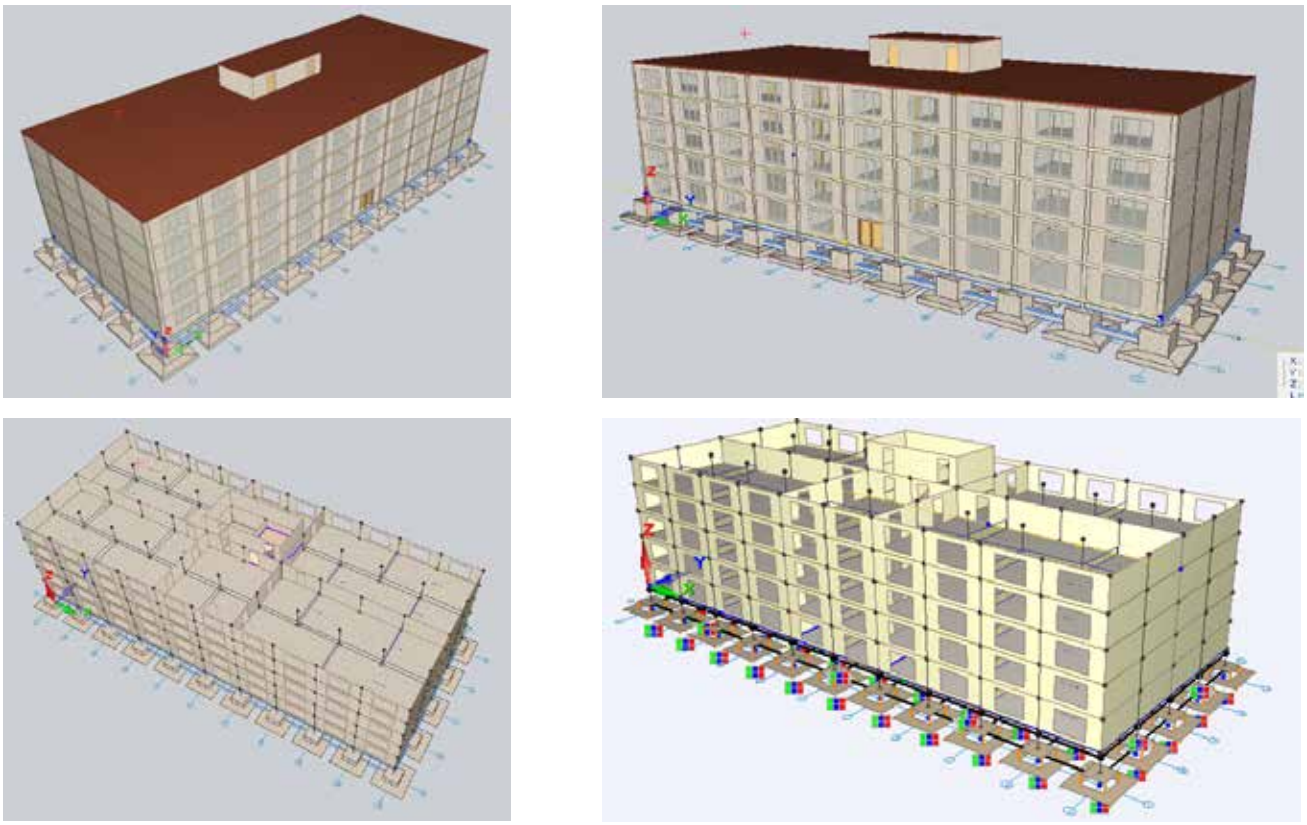


Рис. 1. Модель досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, виконана в ПК ЛІРА-САПР [22] (САПФІР-3D)

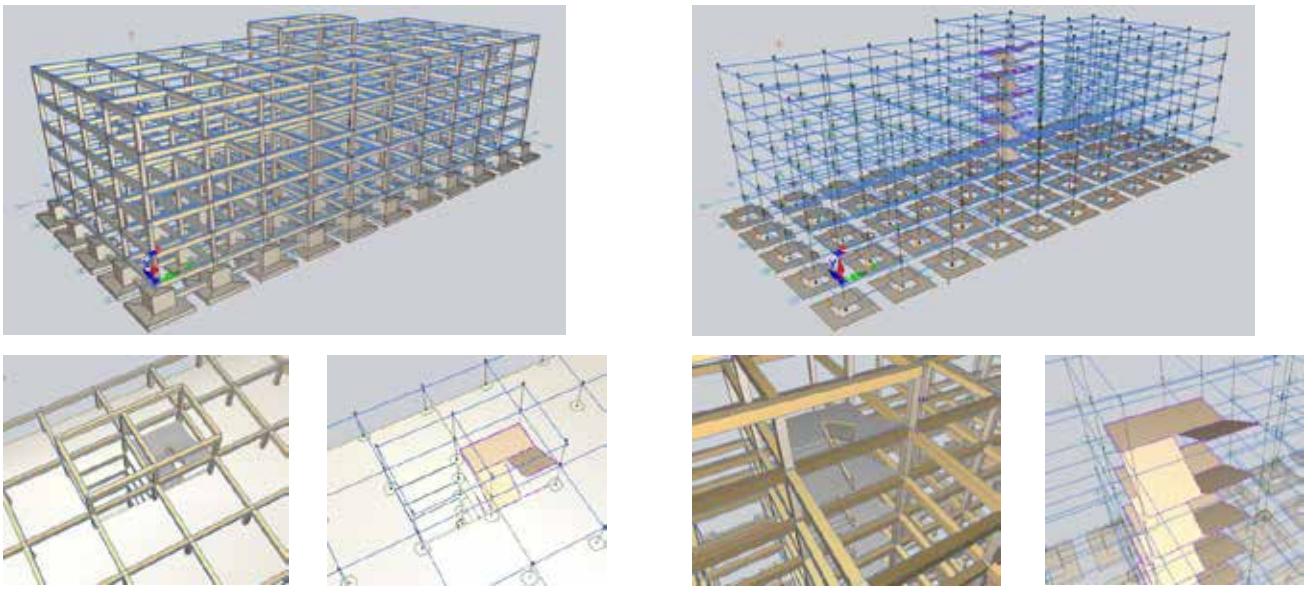


Рис. 2. Конструктивні рішення моделі будівельного об'єкта житлового призначення, виконаної в ПК ЛІРА-САПР [22] (САПФІР-3D)

модель для розрахунку в ПК ЛІРА-САПР [22] (рис. 3).

Подальше моделювання відбувається безпосередньо в програмно-цифровому середовищі ЛІРА-САПР [22] із фокусом на динаміку залізобетонного каркаса.

Перший етап моделювання – дослідження стану будівельних конструкцій (особливо

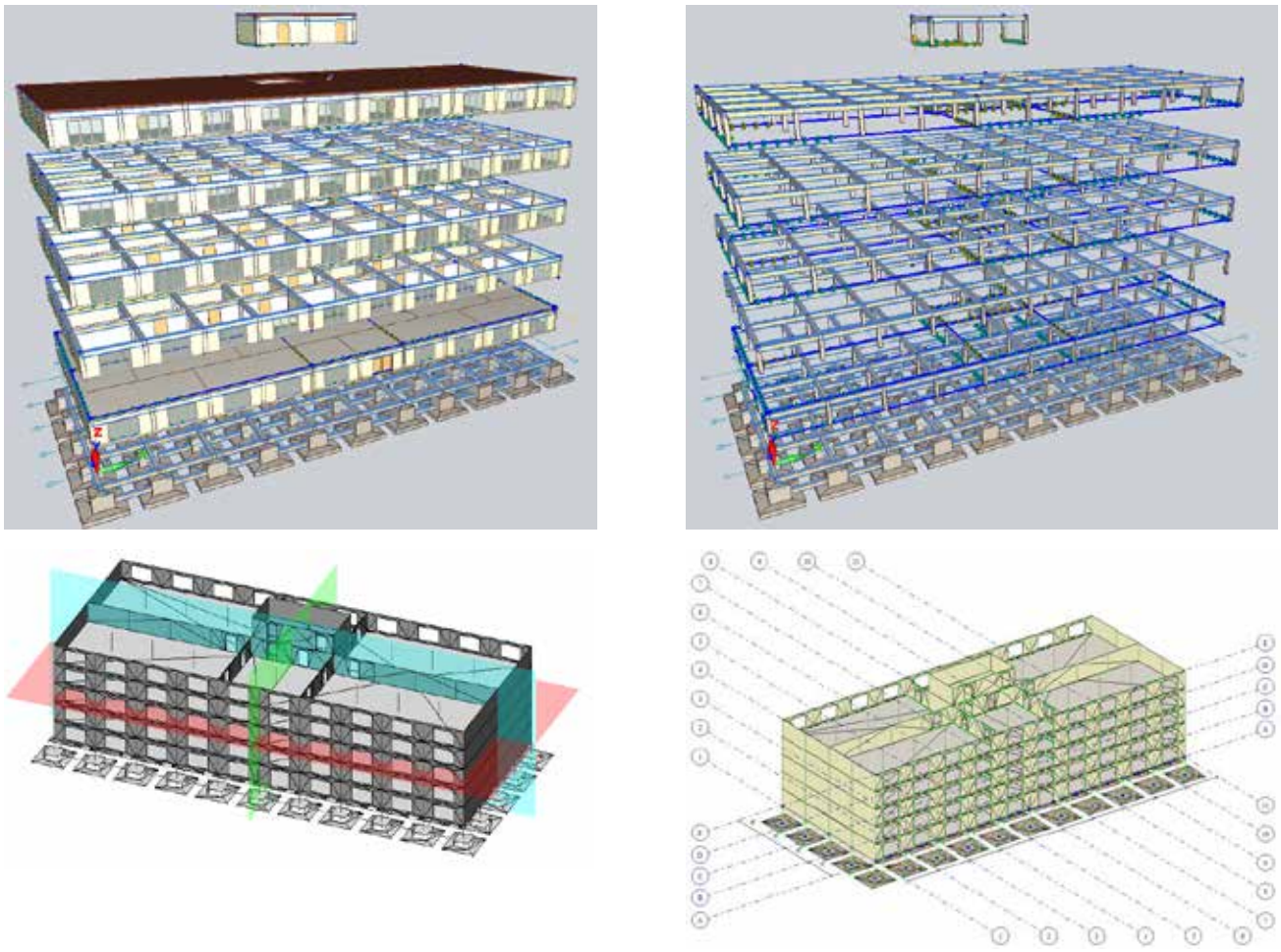


Рис. 3. Скінченно-елементна модель досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, виконана в ПК ЛІРА-САПР [22]

великогабаритних) під дією статичних і динамічних (сейсмічних) навантажень за типових рішень будівництва аналогічних об'єктів в умовах нормативної регуляції України ([5], [23], [25], [26]). Навантаження будівельних конструкцій і систем модельованого будівельного об'єкта виконують відповідно до положень [27], що містить: навантаження від власної ваги конструктивних елементів, постійні специфічні (технологічні) навантаження, снігові, зокрема від снігових карманів, вітрові й сейсмічні навантаження (вібраційна динамічна складова, для якої задають відповідну акселерограму, що відповідає вимогам [5] (рис. 4).

Розрахунок слід виконувати відповідно до положень [5], [26], [27]. Зовнішні огородження переводяться з відповідними значеннями в постійні навантаження від ваги стін. Кліматогеографічні показники, які варто враховувати під час статичних і динамічних навантажень (розрахункова сейсмічна магнітуда – 9 балів), визначаються відповідно до положень [5] і [27], для локації – АР Крим.

Результуючі навантаження, а також коефіцієнти поєднання розрахункових навантажень (РПН) на конструкції моделі будівельного об'єкта житлового призначення, формуються з урахуванням положень [5], [27–29]. Результати розрахунку в програмно-цифровому середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] інтерпретуються в графічному вигляді. Перша частина результатів моделювання – графічні ілюстрації від статичних навантажень при їх максимальному (небезпечному) поєднанні за нормативним РПН, установленим на підставі положень [27–29] (рис. 5). Для розрахунку наступних варіантів посилення проєктної конструкції цей розділ розрахунків не приводиться, оскільки фокус цього дослідження – на сейсмічно-вібраційному впливі (рис. 6).

Згідно з результатами моделювання (рис. 6) у програмно-цифровому середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] установлено, що

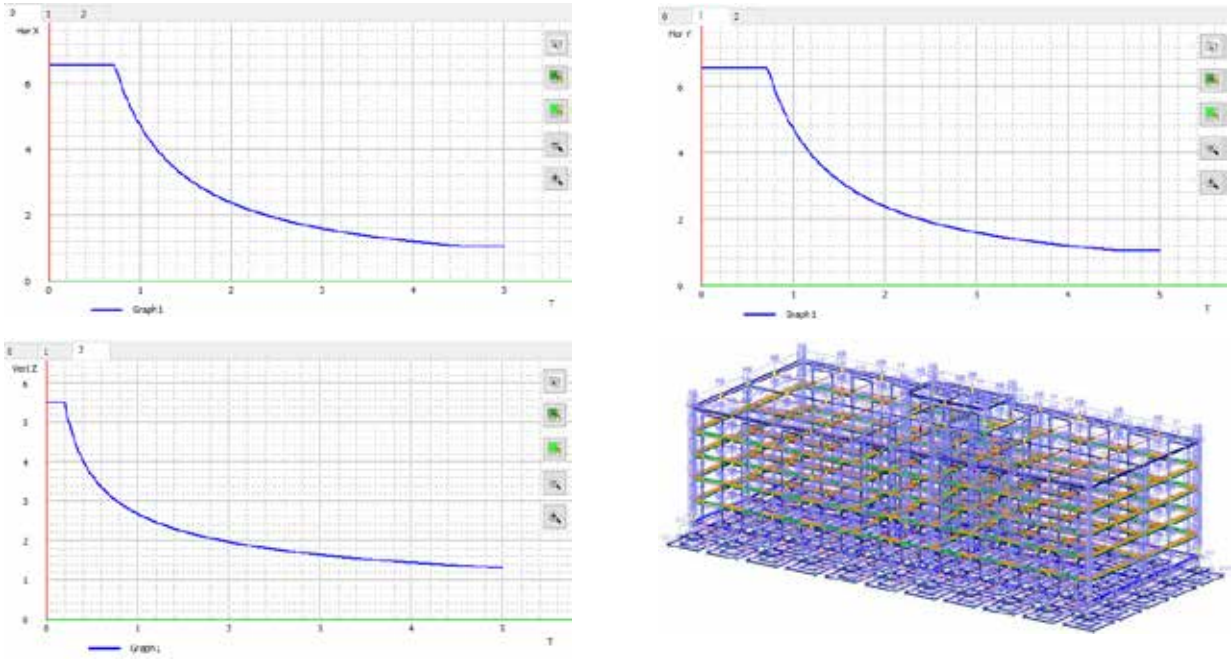
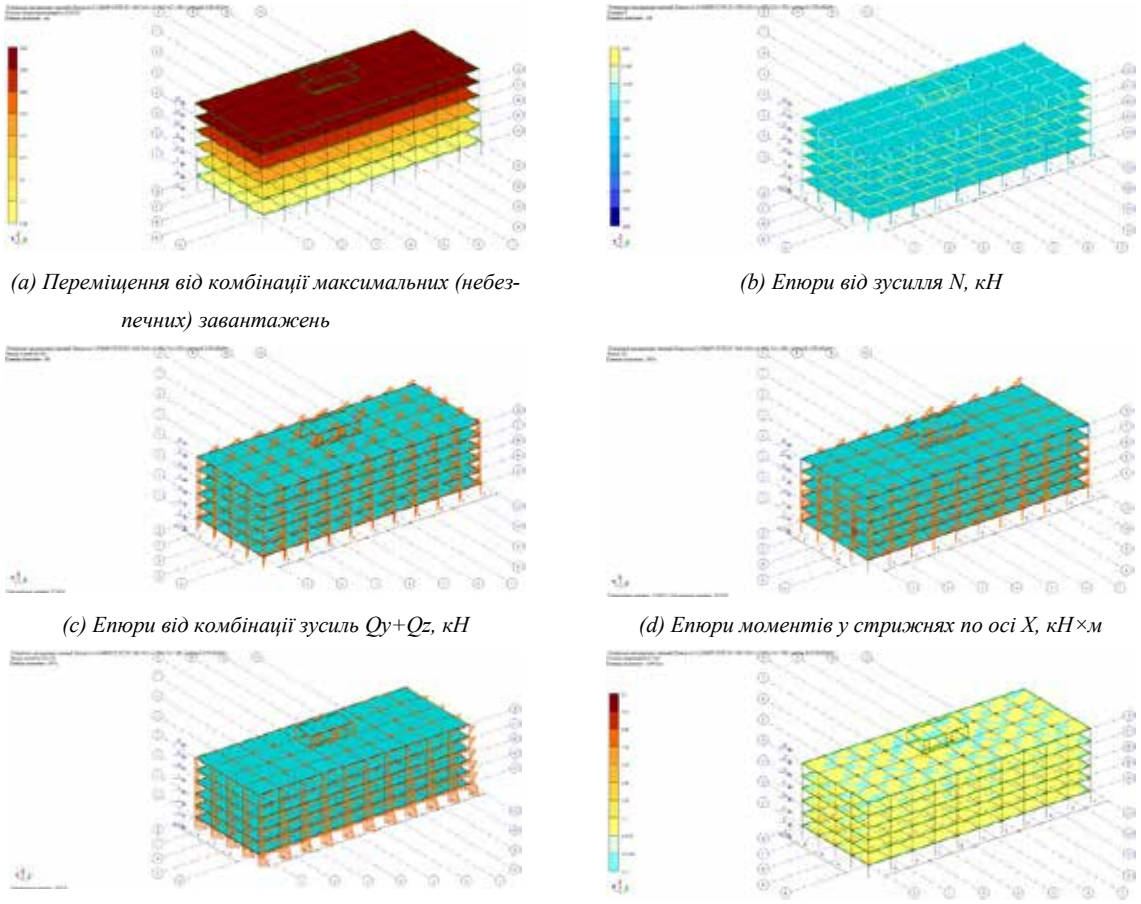


Рис. 4. Завантаження будівельних конструкцій модельованого будівельного об'єкта з урахуванням положень [5] і [27] (ПК ЛІРА-САПР [22])



(a) Переміщення від комбінації максимальних (небезпечних) завантажень

(b) Епюри від зусилля N, кН

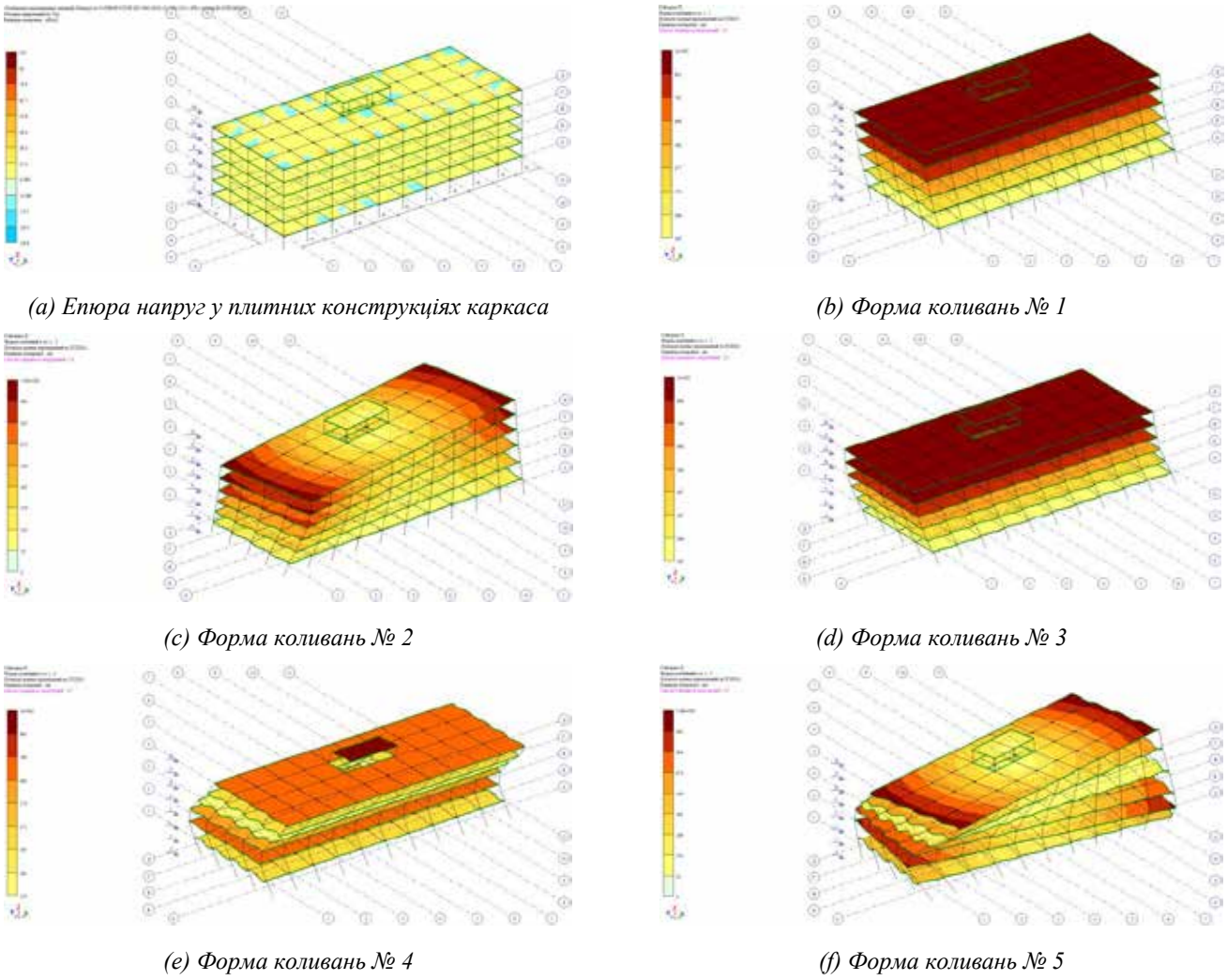
(c) Епюри від комбінації зусиль Qy+Qz, кН

(d) Епюри моментів у стрижнях по осі X, кН×м

(e) Епюри від комбінації моментів у стрижнях за осями Y та Z, кН×м

(f) Епюра моментів у плитних конструкціях каркасу, кН×м

Рис. 5. Розрахункові епюри (ПК ЛІРА-САПР [22])



(a) Епюра напруг у плитних конструкціях каркаса

(b) Форма коливань № 1

(c) Форма коливань № 2

(d) Форма коливань № 3

(e) Форма коливань № 4

(f) Форма коливань № 5

Рис. 6. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта (ПК ЛІРА-САПР [22])

каркасні конструкції досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення під сейсмічним впливом 9 балів зазнають переміщення конструктивних елементів до 1 м.

Далі проаналізуємо цю інформацію відповідно до положень [26, 30, 31] армування для такого розрахункового варіанта (рис. 7).

Отже, для вихідної конструкції досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри:

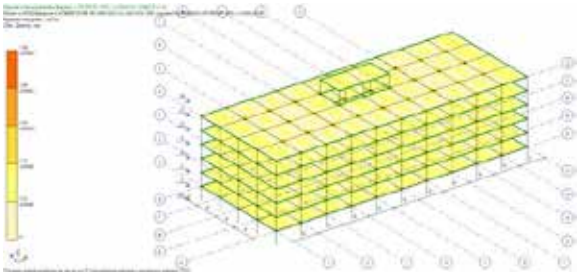
– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – до 1 м;

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 10×200; Y – ∅12×200; поздовжня – ∅16×200×200;

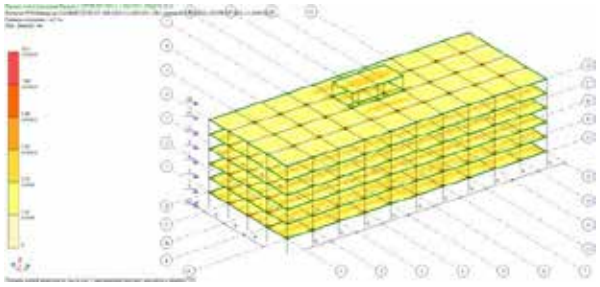
– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26,30,31]: колони – 2∅4×200; балки: поперечна вертикальна 2∅10×200, поперечна горизонтальна – 2∅10×200.

Надалі, з урахуванням мети дослідження щодо пошуку оптимальних, економічно виправданих архітектурно-конструктивних рішень з улаштування великогабаритних будівельних конструкцій і систем будівельних об'єктів, що зводяться в сейсмоактивних регіонах України, для отриманого базового варіанта виконаємо варіативне моделювання (рис. 8).

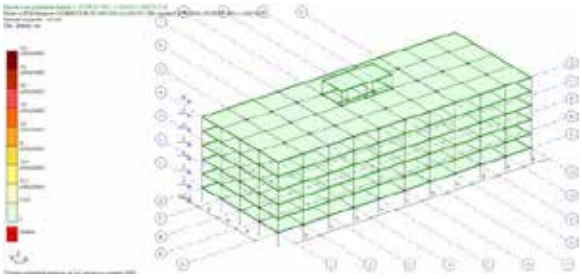
Розглянемо характеристику архітектурно-конструктивних рішень щодо підвищення вібраційної і сейсмічної стійкості великогабаритних будівельних конструкцій модельова-



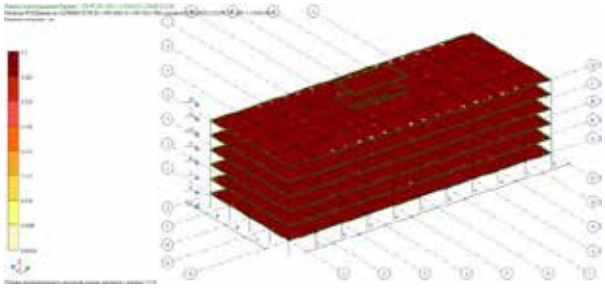
(a) Ізополя максимальної площі армування верх/низ по X



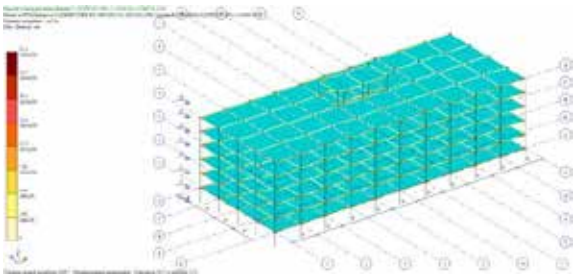
(b) Ізополя максимальної площі армування верх/низ по Y



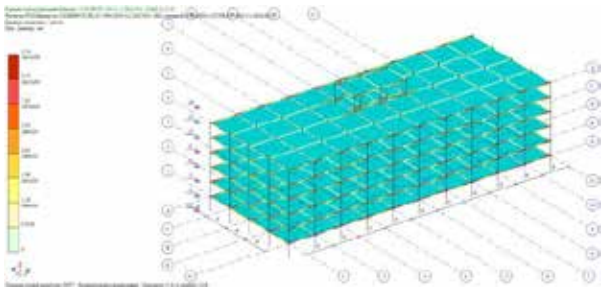
(c) Ізополя максимальної площі поперечного армування



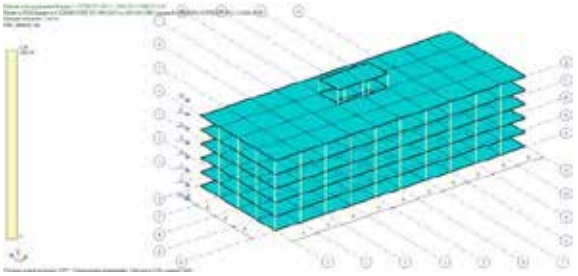
(d) Ізополя тривалого розкриття тріщин у плитних конструкціях каркаса



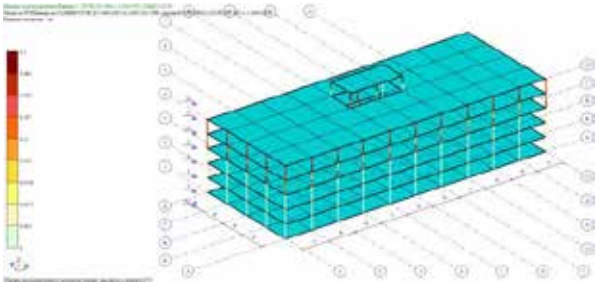
(e) Ізополя максимального поперечного вертикального армування балок



(f) Ізополя максимального поперечного горизонтального армування балок



(g) Ізополя максимального армування колон



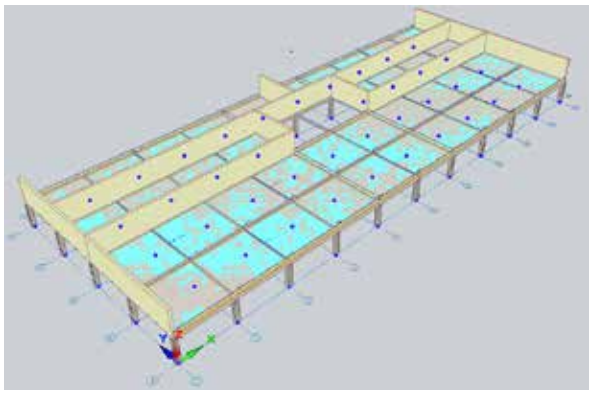
(h) Ізополя тривалого розкриття тріщин у стрижневих конструкціях каркаса

Рис. 7. Ізополя армування конструкцій будівельного об'єкта (ПК ЛІРА-САПР [22])

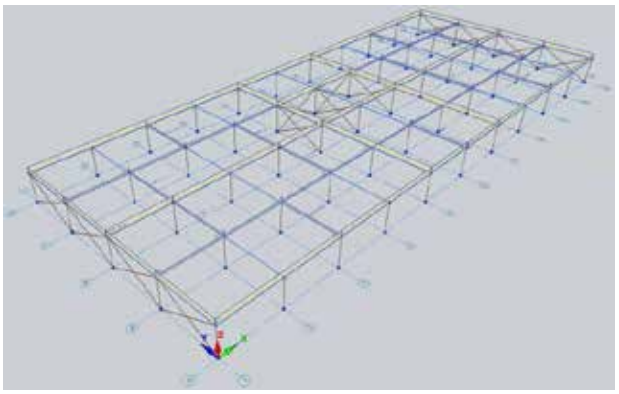
ного будівельного об'єкта житлового призначення (рис. 8):

– рішення вертикальних діафрагм жорсткості: зважаючи на те, що в цьому конструктивному рішенні досліджуваного будівельного об'єкта вже присутні діафрагми жорсткості в горизонтальній площині (перекриття і покриття), як додаткові заходи вживаємо вертикальні діафрагми несучих стін і ядро навколо ліфтово-сходової шахти;

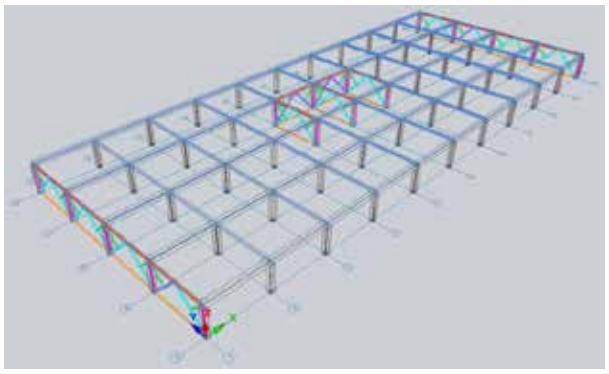
– рішення металевих хрестових зв'язків: хрестові металеві зв'язки зазвичай установлю-



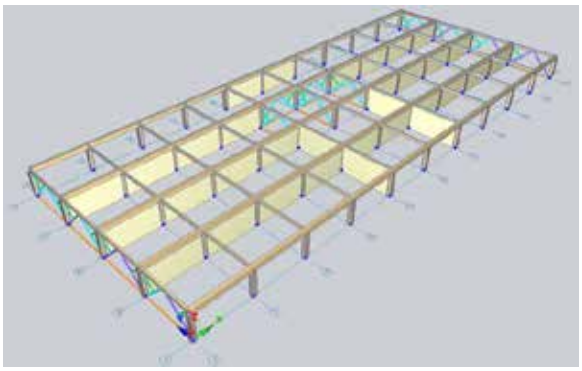
(a) Рішення вертикальних діафрагм жорсткості



(b) Рішення металевих хрестових зв'язків



(c) Рішення портальних металевих зв'язків



(d) Рішення комбінованої системи сейсмопосилення

Рис. 8. Варіанти архітектурно-конструктивних рішень щодо підвищення вібраційної та сейсмічної стійкості великогабаритних будівельних конструкцій (ПК ЛІРА-САПР [22])

ються між стінами або колонами будівлі, щоб посилити зв'язок між ними й збільшити їхню спільну жорсткість. Ці зв'язки зазвичай складаються з хрестовин, які кріпляться до стін або колон за допомогою болтів або зварювання. Рішення має задовольнити вимоги [32];

– рішення портальних металевих зв'язків: портальні металеві зв'язки – це елементи конструкції будівлі, які складаються з колон і балок, з'єднаних один з одним у кутах будівлі, утворюючи раму чи портал. Ці зв'язки можна використовувати для підвищення сейсмічної стійкості будівель. Під час використання портальних металевих зв'язків колони й балки утворюють жорстку раму, яка здатна витримувати хвильові навантаження. Крім того, така конструкція має гарну деформаційну здатність, що дає змогу будівлі поглинати енергію землетрусу й запобігати його руйнуванню. Рішення має задовольнити вимоги [32];

– рішення комбінованої системи сейсмопосилення: найбільш доцільно провести комбінацію конструктивних рішень із пристроєм для досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що зводиться на території із сейсмічністю 9 балів, що базується на підставі діафрагм жорсткості й металевих портальних зв'язків.

Результати розрахунку статичних навантажень пропустимо. Також пропустимо й візуалізацію автоматичного визначення оптимального армування. Результати моделювання сейсмічно-вібраційних впливів виконуємо в програмному середовищі ПК ЛІРА-САПР [22] для кожного з варіантів архітектурно-конструктивного рішення (рис. 8):

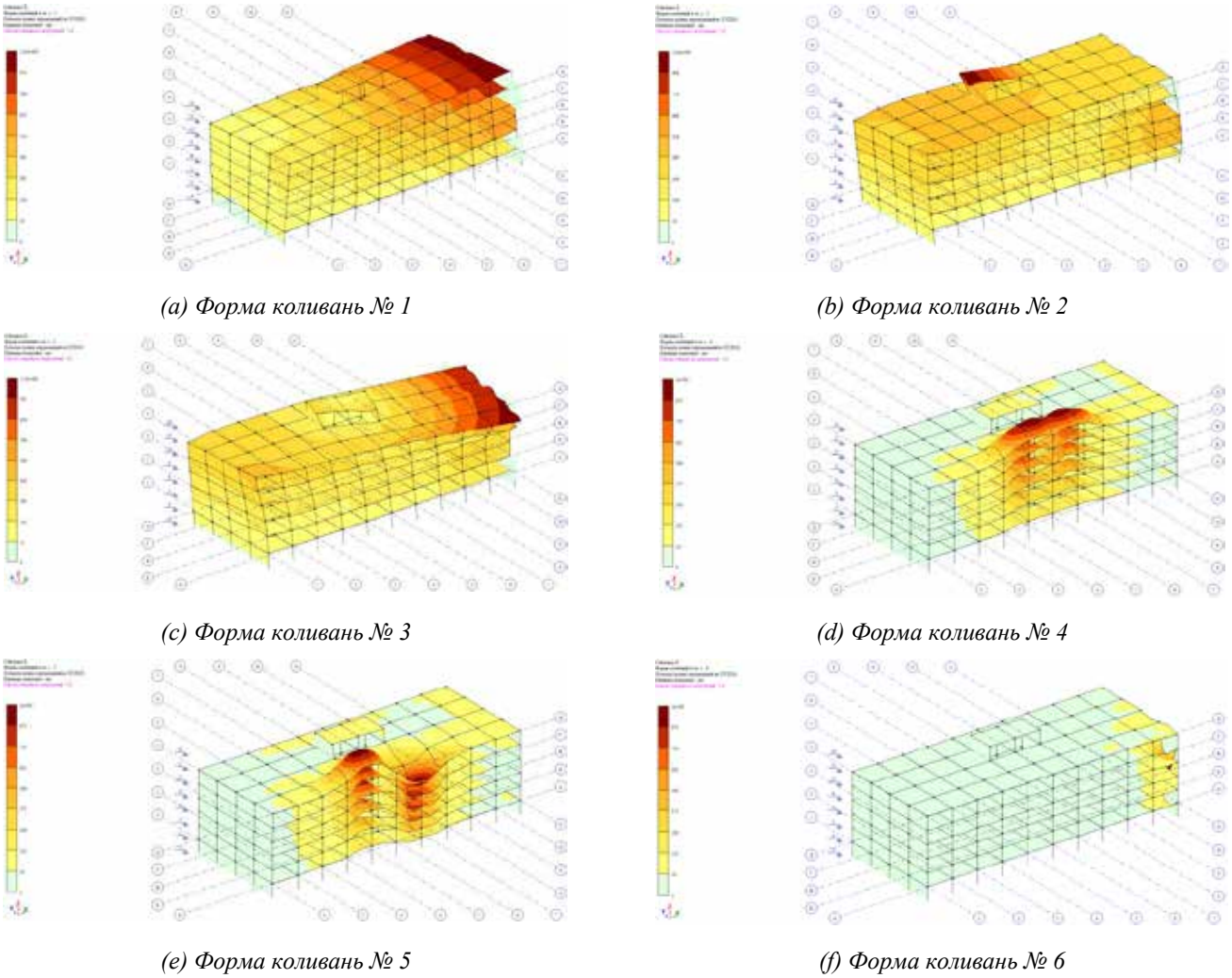
– рішення вертикальних діафрагм жорсткості (рис. 9);

– рішення металевих хрестових зв'язків (рис. 10);

– рішення портальних металевих зв'язків (рис. 11);

– рішення комбінованої системи сейсмопосилення (рис. 12).

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією діафрагм жорсткості в каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 9):



(a) Форма коливань № 1

(b) Форма коливань № 2

(c) Форма коливань № 3

(d) Форма коливань № 4

(e) Форма коливань № 5

(f) Форма коливань № 6

Рис. 9. Форми коливань при впливі сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення вертикальних діафрагм жорсткості (ПК ЛІРА-САПР [22])

– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 375 мм (з урахуванням описаних аспектів);

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 14×200; Y – ∅14×200; поздовжня – ∅16×200×200;

максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2∅5×200; балки: поперечна вертикальна 2∅12×200, поперечна горизонтальна – 2∅12×200.

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією металевих хрестових зв'язків у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 10):

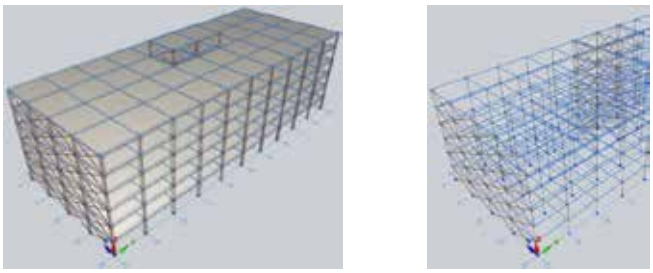
– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 393 мм (з урахуванням описаних аспектів);

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркасу з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 10×200; Y – ∅10×200; поздовжня – ∅16×200×200;

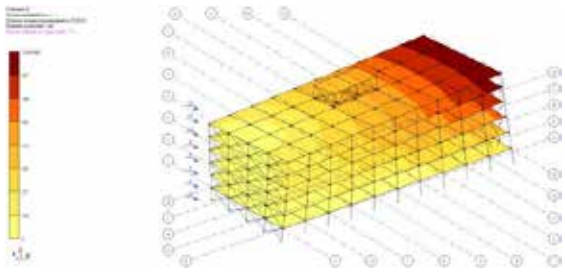
– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2∅4×200; балки: поперечна вертикальна 2∅12×200, поперечна горизонтальна – 2∅12×200;

– запропонований переріз металевих хрестових зв'язків – двотавр 70Б зі сталі С245 [32].

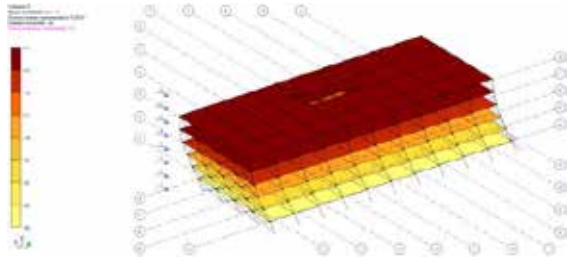
Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією металевих портальних зв'язків у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під



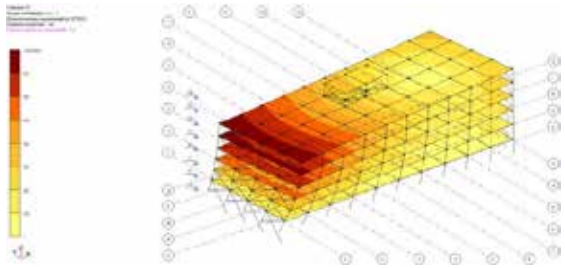
(a) Результати конструювання металевих хрестових зв'язків



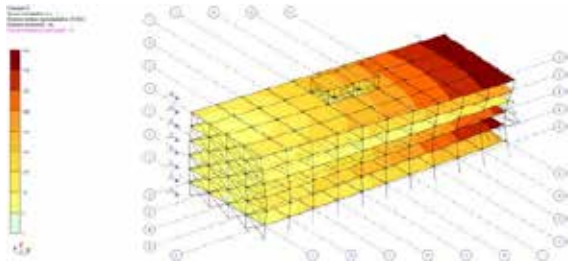
(b) Форма коливань № 1



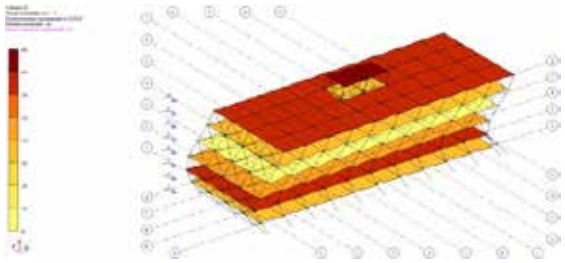
(c) Форма коливань № 2



(d) Форма коливань № 3



(e) Форма коливань № 4



(f) Форма коливань № 5

Рис. 10. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення металевих хрестових зв'язків (ПК ЛІРА-САПР [22])

впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 11):

– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 178 мм;

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 10×200; Y – ∅12×200; поздовжня – ∅16×200×200;

– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: колони – 2∅4×200; балки: поперечна вертикальна 2∅10×200, поперечна горизонтальна – 2∅10×200;

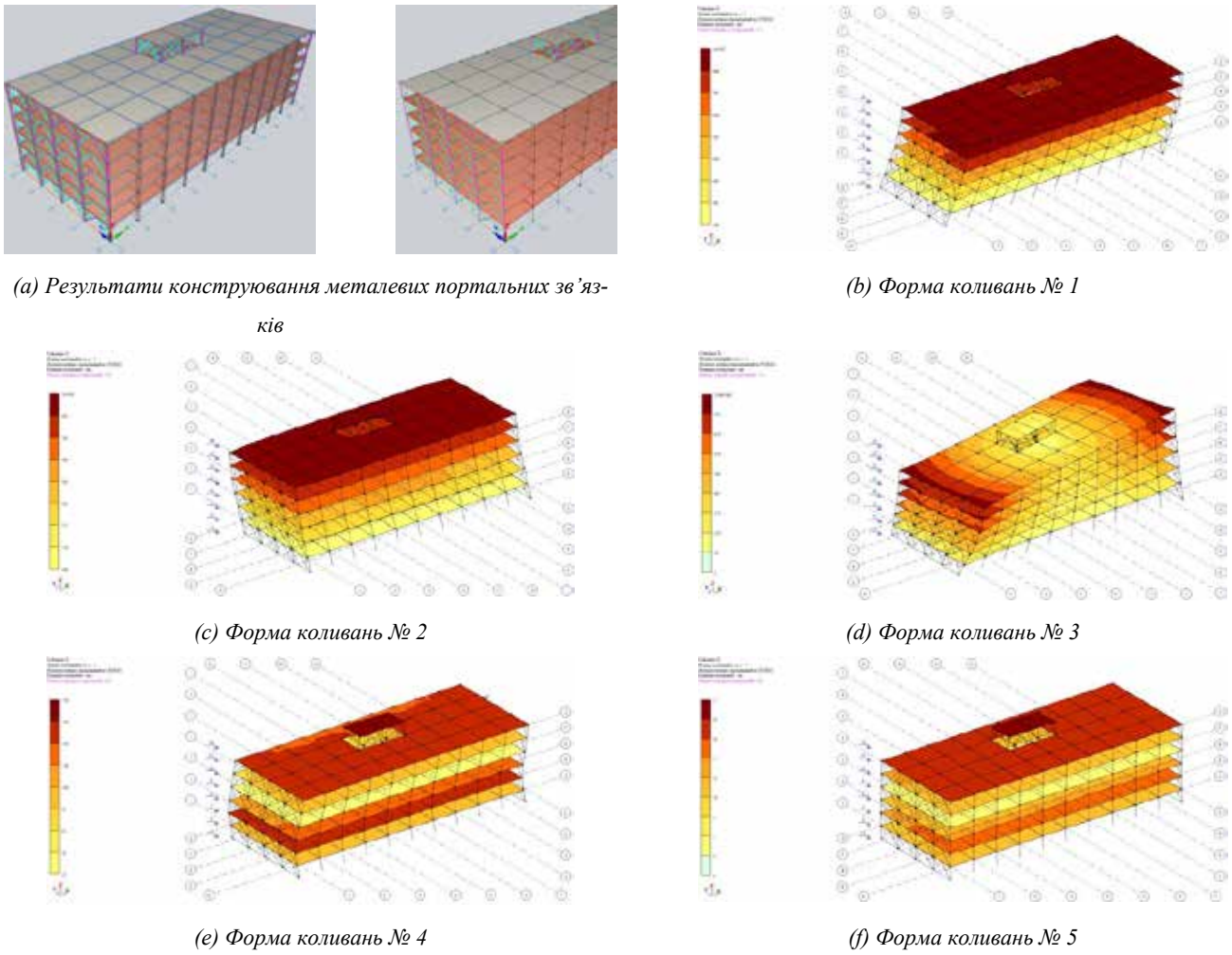
– запропонований переріз металевих портальних зв'язків – прямокутний трубний профіль Гн. 230×100×8 зі сталі С245 [32].

Відповідно до прийнятих конструкційних рішень щодо посилення сейсмічної стійкості досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, слід уважати, що інтеграція в каркас комбінованого рішення на підставі діафрагм жорсткості й портальних металевих зв'язків дозволяє зменшити короткочасне сейсмічне навантаження до нульових значень, однак, тривалі сейсмічні дії можуть призвести до абсолютного медіанного переміщення будівельних конструкцій у 120 мм.

Отже, для модернізованої конструкції з інтеграцією комбінованих рішень (діафрагми жорсткості + металеві портальні зв'язки) у каркас досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що перебуває під впливом сейсмічного навантаження 9 балів, отримано такі параметри (рис. 12):

– абсолютне переміщення будівельних конструкцій – знизилися до медіанного значення – 10–0 мм (уже не першої хвилі сейсмічного обурення);

– максимальне армування (медіанне) для плитних конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26, 30, 31]: X – 8×200; Y –∅8×200; поздовжня – ∅12×200×200;



(a) Результати конструювання металевих портальних зв'язків

(b) Форма коливань № 1

(c) Форма коливань № 2

(d) Форма коливань № 3

(e) Форма коливань № 4

(f) Форма коливань № 5

Рис. 11. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення металевих портальних зв'язків (ПК ЛІРА-САПР [22])

– максимальне армування (медіанне) для стрижневих конструкцій каркаса з урахуванням уніфікації за [26,30,31]: колони – 2∅4×200; балки: поперечна вертикальна 2∅8×200, поперечна горизонтальна – 2∅8×200;

– запропонований переріз металевих портальних зв'язків – прямокутний трубний профіль Гн. 230×100×8 зі сталі С245 [32].

Висновки. За результатами моделювання досліджуваного будівельного об'єкта житлового призначення, що зводиться на території із сейсмічною активністю 9 балів, було запропоновано такі рішення підвищення сейсмічної стійкості:

– посилення, інтеграцією в каркас діафрагм і ядер жорсткості;

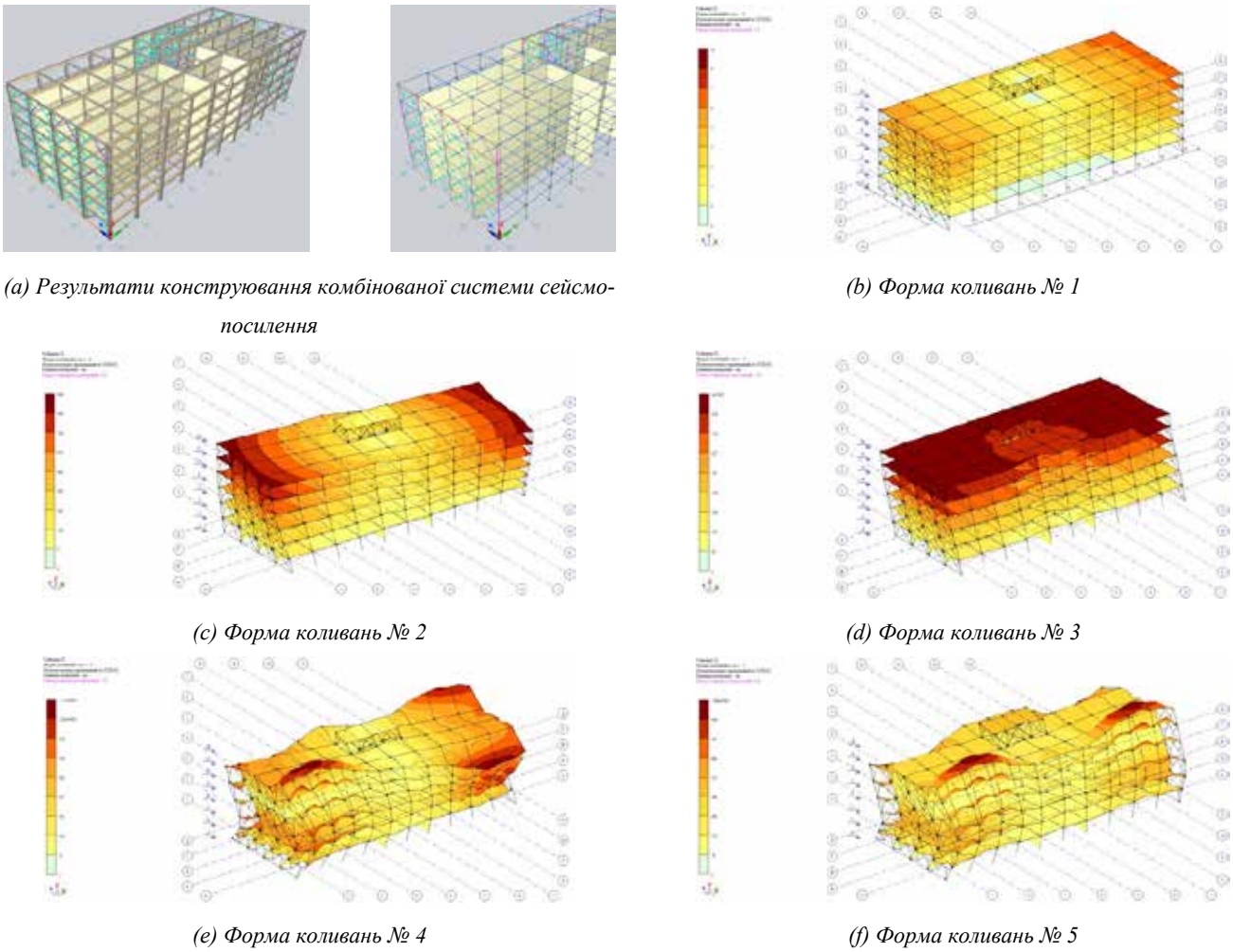
– посилення, інтеграцією в каркас металевих хрестових зв'язків;

– посилення, інтеграцією в каркас металевих портальних зв'язків;

– посилення, інтеграцією в каркас комбінованого рішення.

Комбіноване рішення визначено з найбільш адекватної поставленої задачі комбінації: діафрагми жорсткості й портальні металеві зв'язки.

Під час моделювання сейсмічної дії на досліджуваний об'єкт установлено, що без посилення будівельні конструкції переміщуються до 1 м. У разі посилення діафрагмами та ядрами жорсткості цей показник знизився до 375 мм із наступним загасанням до нуля. Під час посилення моделі хрестовими металевими зв'язками зазначений параметр набув значення 393 мм, проте згасання сейсмічного впливу не було. У разі посилення моделі портальними металевими зв'язками показник абсолютного переміщення знизився (проти схеми без посилення) до 178 мм із поступовим загасанням до 10-20 мм. Комбіноване



(a) Результати конструювання комбінованої системи сейсмопосилення

(b) Форма коливань № 1

(c) Форма коливань № 2

(d) Форма коливань № 3

(e) Форма коливань № 4

(f) Форма коливань № 5

Рис. 12. Форми коливань під час впливу сейсмічних навантажень на проєктну каркасну конструкцію досліджуваного об'єкта із застосуванням рішення комбінованої системи сейсмопосилення (ПК ЛІРА-САПР [22])

рішення (діафрагми жорсткості й портальні зв'язки) знизили фокусний показник до значення 10 – 0 вже на першій хвилі сейсмічного впливу.

Отже, для цілей максимального захисту будівельного об'єкта, який зводиться на сейсмоактивних територіях України, доцільно використовувати посилення комбінованим методом.

Література

1. Naddaf, M. Turkey-Syria earthquake: what scientists know. *Nature*. 2023. URL: https://doi.org/10.1038/d41586-023-00364-y (date of access: 05.05.2023).
2. 2023 Turkey-Syria Earthquake. *Center for Disaster Philanthropy*. 2023. URL: https://cutt.ly/S3MM30I (date of access: 05.05.2023).
3. Ghosh, P. Turkey earthquake: Where did it hit and why was it so deadly?. *The BBC*. 2023. URL: https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696 (date of access: 05.05.2023).
4. Sariyuce, I. [et al.]. Turkey halts most rescue efforts for earthquake survivors. *Cable News Network*. 2023. URL: https://edition.cnn.com/2023/02/19/europe/turkey-stop-earthquake-rescue-intl/index.html (date of access: 05.05.2023).
5. ДБН В.1.1-12:2014 *Будівництво в сейсмічних районах України*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58628 (дата звернення: 05.05.2023).
6. Janik, T., Starostenko, V., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., ... & Chulkov, S. *The SHIELD'21 deep seismic experiment, Ukraine*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-2387. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2387 (date of access: 05.05.2023).
7. Amashukeli, T., Malatesta, L., Farfuliak, L., Ganiev, O., & Petrenko, K. *Current situation and challenges for the Ukrainian seismic network*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-3590. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-3590 (date of access: 05.05.2023).

8. Andrushchenko, Y., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Ganiev, O., Amashukeli, T., & Osadchyi, V. (2022, November). Ukrainian National Seismological Bulletin 2021. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. EAGE Publications BV. 2022. Vol. 2022, No. 1. P. 1-5. URL: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580178 (date of access: 05.05.2023).
9. Micu, M., Micu, D., & Havenith, H. B. Earthquake-induced landslide hazard assessment in the Vrancea Seismic Region (Eastern Carpathians, Romania): Constraints and perspectives. *Geomorphology*. 2023. 108635. URL: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108635 (date of access: 05.05.2023).
10. Aldea, A., Vacareanu, R., Lungu, D., Pavel, F., & Arion, C. GMPEs for Romania's Vrancea Intermediate Depth Seismic Source. In *Progresses in European Earthquake Engineering and Seismology: Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology–Bucharest, 2022*. Cham: Springer International Publishing. 2022. P. 90-108. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15104-0_6 (date of access: 05.05.2023).
11. Craiu, A., Craiu, M., Mihai, M., Manea, E. F., & Marmureanu, A. Vrancea intermediate-depth focal mechanism catalog: a useful instrument for local and regional stress field estimation. *Acta Geophysica*. 2023. Vol. 71. No. 1. P. 29-52. URL: https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-4 (date of access: 05.05.2023).
12. *Геофізичний моніторинг*. Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України. 2023. URL: http://www.igph.kiev.ua/ukr/geomon.html (дата звернення: 05.05.2023).
13. *Сейсмічний моніторинг*. Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України. 2023. URL: https://gcsk.gov.ua/sejsmichnij-monitoring/ (дата звернення: 05.05.2023).
14. Dando, B., Goertz-Allmann, B., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. Exposing military attacks in the 2022 Russia-Ukraine conflict using seismic array data. *Research Square*. 2023. URL: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2613796/v1 (date of access: 05.05.2023).
15. Fridman, O., & Michlin-Shapir, V. The Seismic Effects of the War in Ukraine. *The Jerusalem Strategic Tribune*. *King's College London*. 2022. URL: https://jstribune.com/michlin-shapir-fridman-the-seismic-effects-of-the-war-in-ukraine/ (date of access: 05.05.2023).
16. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. *Real-time monitoring of the Russia-Ukraine conflict using seismic and infrasound array data*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-11829. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11829 (date of access: 05.05.2023).
17. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Vol. 166. No. 107738. URL: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107738 (date of access: 05.05.2023).
18. Marano, G. C., Rosso, M. M., & Melchiorre, J. Optimization as a Tool for Seismic Protection of Structures. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 100-113. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_8 (date of access: 05.05.2023).
19. Peng, T., Guan, J., & Wu, Y. Numerical and Experimental Investigation of the Seismic Effect of a Two-Stage Seismic Isolation Method. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 6. P. 4883. URL: https://doi.org/10.3390/su15064883 (date of access: 05.05.2023).
20. Noori, M., Zhang, J., Elghandour, E., Cardone, D., & Narjabadifam, P. Versatile Aseismic Isolation Based on Practical Applications of Advanced Materials for Sustainable Resilience Against Earthquakes. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. P. 611-622. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_51 (date of access: 05.05.2023).
21. Wang, Q., Zheng, Z., Qiao, H., & De Domenico, D. Seismic protection of reinforced concrete continuous girder bridges with inerter-based vibration absorbers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Vol. 164. P. 107526. URL: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107526 (date of access: 05.05.2023).
22. *Багатофункціональний програмний комплекс ЛІРА-САПР*. LIRALAND Group. 2023. URL: https://www.liraland.ua/lira/ (дата звернення: 05.05.2023).
23. ДБН В.2.2-15:2019 *Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. З Поправкою*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59627 (дата звернення: 05.05.2023).
24. *Скільки поверхів у будинках мого мікрорайону?*. ЛУН Місто. 2023. URL: https://misto.lun.ua/poverhovist (дата звернення: 05.05.2023).
25. ДБН Б.2.2-12:2019 *Планування та забудова територій*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211 (дата звернення: 05.05.2023).
26. ДБН В.2.6-98:2009 *Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (дата звернення: 05.05.2023).
27. ДБН В.1.2-2:2006 *Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89760 (дата звернення: 05.05.2023).
28. ДБН В.1.2-14:2018 *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683 (дата звернення: 05.05.2023).
29. ДСТУ 8855:2019 *Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності)*. ДП «УкрНДНЦ». 2022. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/ doc-page.html?id_doc=83254 (дата звернення: 05.05.2023).
30. ДСТУ 3760:2019 *Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82146 (дата звернення: 05.05.2023).
31. ДСТУ 8539:2015 *Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64876 (дата звернення: 05.05.2023).

32. ДБН В.2.6-198:2014 *Сталеві конструкції. Норми проектування*. ДП «УкрНДНЦ». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58106 (дата звернення: 05.05.2023).

References

1. Naddaf, M. Turkey-Syria earthquake: what scientists know. *Nature*. 2023. URL: https://doi.org/10.1038/d41586-023-00364-y (date of access: 05.05.2023).
2. 2023 Turkey-Syria Earthquake. *Center for Disaster Philanthropy*. 2023. URL: https://cutt.ly/S3MM30I (date of access: 05.05.2023).
3. Ghosh, P. Turkey earthquake: Where did it hit and why was it so deadly?. *The BBC*. 2023. URL: https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696 (date of access: 05.05.2023).
4. Sariyuce, I. [et al.]. Turkey halts most rescue efforts for earthquake survivors. *Cable News Network*. 2023. URL: https://edition.cnn.com/2023/02/19/europe/turkey-stop-earthquake-rescue-intl/index.html (date of access: 05.05.2023).
5. DBN V.1.1-12:2014 *Construction in seismic areas of Ukraine*. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58628 (date of acces: 05.05.2023).
6. Janik, T., Starostenko, V., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., ... & Chulkov, S. *The SHIELD'21 deep seismic experiment, Ukraine*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-2387. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-2387 (date of access: 05.05.2023).
7. Amashukeli, T., Malatesta, L., Farfuliak, L., Ganiev, O., & Petrenko, K. *Current situation and challenges for the Ukrainian seismic network*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-3590. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-3590 (date of access: 05.05.2023).
8. Andrushchenko, Y., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Ganiev, O., Amashukeli, T., & Osadchyi, V. (2022, November). Ukrainian National Seismological Bulletin 2021. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. EAGE Publications BV. 2022. Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5. URL: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580178 (date of access: 05.05.2023).
9. Micu, M., Micu, D., & Havenith, H. B. Earthquake-induced landslide hazard assessment in the Vrancea Seismic Region (Eastern Carpathians, Romania): Constraints and perspectives. *Geomorphology*. 2023. 108635. URL: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023. 108635 (date of access: 05.05.2023).
10. Aldea, A., Vacareanu, R., Lungu, D., Pavel, F., & Arion, C. GMPEs for Romania's Vrancea Intermediate Depth Seismic Source. In *Progresses in European Earthquake Engineering and Seismology: Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology –Bucharest, 2022*. Cham: Springer International Publishing. 2022. pp. 90-108. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15104-0_6 (date of access: 05.05.2023).
11. Craiu, A., Craiu, M., Mihai, M., Manea, E. F., & Marmureanu, A. Vrancea intermediate-depth focal mechanism catalog: a useful instrument for local and regional stress field estimation. *Acta Geophysica*. 2023. Vol. 71. No. 1. pp. 29-52. URL: https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-4 (date of access: 05.05.2023).
12. *Geophysical monitoring*. S. I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine. 2023. URL: http://www.igph.kiev.ua/ukr/geomon.html (date of access: 05.05.2023).
13. *Seismic monitoring*. Main Special Control Center (SCSC) of the State Space Agency of Ukraine. 2023. URL: https://gcsk.gov.ua/sejsmichnij-monitoring/ (date of access: 05.05.2023).
14. Dando, B., Goertz-Allmann, B., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. Exposing military attacks in the 2022 Russia-Ukraine conflict using seismic array data. *Research Square*. 2023. URL: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2613796/v1 (date of access: 05.05.2023).
15. Fridman, O., & Michlin-Shapir, V. The Seismic Effects of the War in Ukraine. *The Jerusalem Strategic Tribune. King's College London*. 2022. URL: https://jstribune.com/michlin-shapir-fridman-the-seismic-effects-of-the-war-in-ukraine/ (date of access: 05.05.2023).
16. Dando, B. D., Goertz-Allmann, B. P., Brissaud, Q., Köhler, A., Schweitzer, J., & Kværna, T. *Real-time monitoring of the Russia-Ukraine conflict using seismic and infrasound array data*. Copernicus Meetings. 2023. No. EGU23-11829. URL: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-11829 (date of access: 05.05.2023).
17. Wu, M., Tian, W., He, J., Liu, F., & Yang, J. Seismic isolation effect of rubber-sand mixture cushion under different site classes based on a simplified analysis model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Vol. 166. No. 107738. URL: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107738 (date of access: 05.05.2023).
18. Marano, G. C., Rosso, M. M., & Melchiorre, J. Optimization as a Tool for Seismic Protection of Structures. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. pp. 100-113. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_8 (date of access: 05.05.2023).
19. Peng, T., Guan, J., & Wu, Y. Numerical and Experimental Investigation of the Seismic Effect of a Two-Stage Seismic Isolation Method. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 6. pp. 4883. URL: https://doi.org/10.3390/su15064883 (date of access: 05.05.2023).
20. Noori, M., Zhang, J., Elghandour, E., Cardone, D., & Narjabadifam, P. Versatile Aseismic Isolation Based on Practical Applications of Advanced Materials for Sustainable Resilience Against Earthquakes. In *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures: 17th World Conference on Seismic Isolation (17WCSI)*. Cham: Springer International Publishing. 2023. pp. 611-622. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-21187-4_51 (date of access: 05.05.2023).
21. Wang, Q., Zheng, Z., Qiao, H., & De Domenico, D. Seismic protection of reinforced concrete continuous girder bridges with inerter-based vibration absorbers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Vol. 164. pp. 107526. URL: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107526 (date of access: 05.05.2023).
22. *Multifunctional software complex LIRA-SAPR*. LIRALAND Group. 2023. URL: https://www.liraland.ua/lira/ (date of access: 05.05.2023).

23. DBN V.2.2-15:2019 Buildings and structures. Residential buildings. Substantive provisions. With Amendment. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59627 (date of access: 05.05.2023).
24. *How many floors are there in the houses of my neighborhood?* LUN City. 2023. URL: https://misto.lun.ua/poverhovist (date of access: 05.05.2023).
25. DBN B.2.2-12:2019 Planning and development of territories. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211 (date of access: 05.05.2023).
26. DBN V.2.6-98:2009 Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677 (date of access: 05.05.2023).
27. DBN V.1.2-2:2006 Loads and impacts. Design standards. With changes. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89760 (date of access: 05.05.2023).
28. DBN V.1.2-14:2018 System for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683 (date of access: 05.05.2023).
29. DSTU 8855:2019 Buildings and structures. Determination of the class of consequences (responsibility). SE «UkrNDNC». 2022. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/ doc-page.html?id_doc=83254 (date of access: 05.05.2023).
30. DSTU 3760:2019 Reinforcement rolling for reinforced concrete structures. General technical conditions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82146 (date of access: 05.05.2023).
31. DSTU 8539:2015 Rolls for building steel structures. General technical conditions. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64876 (date of access: 05.05.2023).
32. DBN V.2.6-198:2014 Steel structures. Design standards. SE «UkrNDNC». 2023. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58106 (date of access: 05.05.2023).

ENSURING THE STABILITY OF LARGE BUILDING STRUCTURES UNDER CONDITIONS OF STATIC AND VIBRATION LOADS

Abstract. *The purpose of the article is to determine optimal, economically justified solutions for ensuring the stability of large-scale building structures under statistical and vibrational loads. The focus of the research is the development of solutions that are adaptive to the conditions of Ukraine to increase the seismic resistance of building objects at the design and construction stage, which determines the novelty of the research, since similar research solutions are focused on post-factum measures implemented for the reconstruction of the existing building stock. The Ukrainian software product –PC LIRA CAD was used for modeling. Modeling is carried out for a construction object of mass residential construction, which is being built in the territory of a seismically active region. After modeling a residential construction object, which is being built in an area with a seismic activity of 9 points, the following solutions were studied to increase its seismic resistance: reinforcement by integrating diaphragms and stiffening cores into the frame; strengthening by integrating metal cross links into the frame; reinforcement by integrating metal portal connections into the frame; reinforcement using a combined solution. When modeling the seismic action on the research object, it was established that without reinforcement, building structures move up to 1 m. When reinforced with diaphragms and stiffening cores, this indicator decreased to 375 mm, with subsequent attenuation to zero. When reinforced with cross metal ties, the indicated parameter took on a value of 393 mm, but no attenuation of the seismic impact was observed. When strengthening the simulated model with portal metal ties, the absolute displacement index decreased (compared to the scheme without strengthening) to 178 mm with a gradual attenuation to 10 – 20 mm. The combined solution (diaphragms of rigidity and portal connections) reduced the focal index to a value of 0 at the first wave of seismic disturbance. Thus, for the purposes of maximum protection of the building object, which is erected in the seismically active territories of Ukraine, it is advisable to use reinforcement by a combined method.*

Key words: seismic protection, seismic isolation, vibration isolation, architectural and structural solutions, combined solutions.

Kaidash M.D.
Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Welding and Construction Technologies,
Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv

УДК 624.012.44
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.2

Мітрофанов В.П.
к.т.н., доцент, керівник,
Центр передових методів розрахунку бетонних конструкцій, м. Полтава

Митрофанов П.Б.
к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій Навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава
ORCID ID: 0000-0003-4274-1336

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ТРІЩИНАМИ НА ОСНОВІ СПЕЦІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕННЯ ЗА КРАЄМ ТРІЩИНИ

Анотація. *Відзначаються недоліки відомих моделей Механіки Крихкого руйнування (МКР), для подолання яких обґрунтовується спеціальний розподіл напруження у зоні послаблених міжчасткових в'язів тріщини (Fracture Process Zone (FPZ)). Ці напруження, названі "Фізично Правдоподібні Напруження (ФПН))", були покладені в основу пропонуємої моделі МКР, яка використовує три параметри матеріалу: силовий* σ_m*, геометричний "a" та безрозмірний n, що враховує пластичні властивості матеріалу. Наближені величини указаних параметрів матеріалу наводяться.*

Для розв'язання задач міцності використовується метод перерізів, але замість відомої версії цього методу застосовується "модифікований метод перерізів", у якому замість асимптотичного розподілу напруження у FPZ використовується ФПН. Незважаючи на застосування трьох параметрів матеріалу, модель МКР на основі ФПН і модифікований метод перерізів приводять до прийнятного в практиці методу розрахунку міцності плоских бетонних і залізобетонних елементів з тріщинами. Запропоновані модель МКР і метод розрахунку дозволяють передбачити поведінку тріщин з урахуванням їх початкового стійкого підростання до критичних довжини тріщини та навантаження. Стаття викладає суть моделі ФПН, приклади розрахунків і показує задовільну близькість теоретичної міцності до експериментальної. Методи випробувань для визначення параметрів моделі ФПН не розглядаються.

Ключові слова: механіка крихкого руйнування, напруження, метод розрахунку.

Постановка проблеми. В лінійній механіці крихкого руйнування (ЛМКР) приймається модель пружного тіла, яка приводить до фізично неправдоподібного нескінченно великого напруження у кінці тріщини. ЛМКР допускає тільки нерухомий стан тріщини і стан її нестійкого поширення. Але в дійсності тріщина завжди спочатку стійко підростає до своєї критичної довжини l_{cr} разом з досягненням критичного навантаження елемента F_{cr}, після чого починається її нестійке поширення і крихке руйнування. Проте ЛМКР не розглядає докритичний розвиток тріщин.

Модель пружно-пластичного тіла може враховувати докритичне підростання тріщин і перехід на низхідну гілку залежності "навантаження елемента *F* – довжина тріщини *l*". Але ця модель вимагає надто складних розрахунків і вона не є універсальною для усіх матеріалів. Взагалі кожен матеріал відрізняється специфікою напружено-деформованого стану в FPZ, що повинно враховуватися моделями МКР деяким чином. Для цього пропонується замість використання моделей деформуємих тіл у всьому об'ємі матеріала елемента застосовувати в FPZ деякий розподіл напруження σ_r, що обґрунтовується на основі фізичних уявлень про поведінку розглядаємого матеріала. Поза FPZ приймається пружна або інша модель деформуємого тіла в залежності від конкретних умов задачі.

Аналіз останніх досліджень. Крихке руйнування зумовлено процесом розриву матеріала в локалізованій зоні r_p послаблених міжчасткових в'язів у кінці тріщини [1] (Fracture Process Zone (FPZ) [2]). Тому точність моде-

лей Механіки Крихкого Руйнування (МКР) залежить від точності опису напружено-деформованого стану матеріала елемента в зоні r_p, який звичайно визначається прийнятою моделлю матеріла.

Уявлення, покладені в основу моделі ФПН. Розглядаються структурно-неоднорідні матеріали, такі як бетони, гірські породи, ґрунти, чавуни, кераміка та інші, що мають явну схильність до крихкого руйнування по тріщині відриву під дією напружень розтягнення. Тому тут аналізуються тільки тріщини відриву, які частіше зустрічаються та найбільш небезпечні в практиці.

На рис. 1 позначена довжина l частини 1 тріщини з суміжними поверхнями без напружень (дійсна тріщина), яка має ширину розкриття на кінці δ_c. Далі розташовується FPZ 2, протилежні поверхні якої плавно змикаються на кінці відстані r_p від початку FPZ. Структура матеріалу в FPZ порушена безліччю мікротріщин, розмір і кількість яких поступово зменшується у напрямку до кінця FPZ, де існує зона 3 помірного розвитку мікротріщин з округлою межею 5. На рис. 1 у перерізі А-А мікротріщини 6 показані умовно круглим контуром.

FPZ є перехідна зона від дійсної тріщини 1 з повністю розірваним матеріалом до зони 4 з непорушеною структурою. Таким чином, якщо відстань (координата) r від кінця O дійсної тріщини збільшується, ступінь порушення структури матеріалу поступово зменшується, я його здатність чинити опір розтягненню відповідно зростає. Тоді на кінці O дійсної тріщини з повністю розірваним матеріалом його опір $\sigma_p = 0$ при $r = 0$. Зате в зоні $r > 0$ відбувається поступове зростання напруження зчеплення σ_r між протилежними поверхнями FPZ, яке досягає максимума σ_m при певній координаті $r = a$, де існують умови ефективного стримування деформацій і напруження σ_m може значно перевищувати опір матеріалу при осьовому розтягу. Після максимуму σ_m починається зниження напруження σ_r внаслідок зменшення загального рівня напружено-деформованого стану розтягування матеріалу на достатній відстані від кінця тріщини. У результаті має місце хвилеподібний розподіл напруження σ_r уздовж FPZ, який приймається у моделі ФПН.

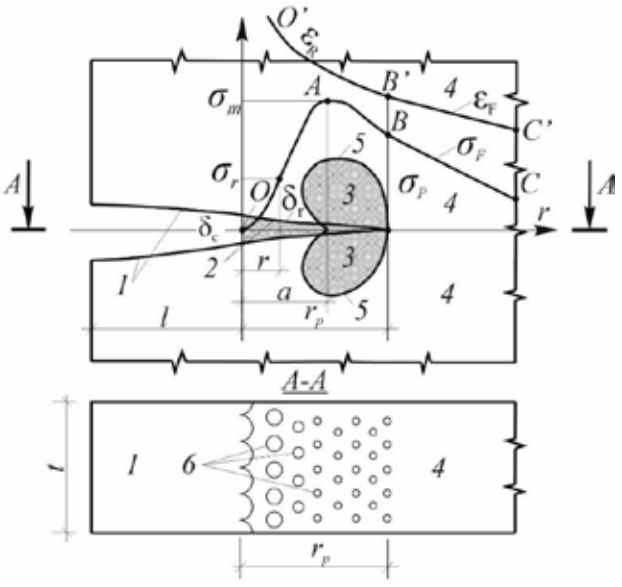


Рис. 1. Структура кінцевої зони тріщини відриву

Необхідність указаного на рис. 1 характеру розподілу напруження зчеплення σ_r по кривій OAB була усвідомлена давно в моделях [3, 4], подальший розвиток яких істотно відрізняється від моделі ФПН.

Описана структура кінцевої зони тріщини відриву підтверджується експериментами [5], у яких деформований стан бетону біля кінця тріщини відриву визначався методами голографічної інтерферометрії за допомогою спекл-фотографій (Electronic Speckle Pattern Interferometry) та акустичної емісії (Acoustic Emission). На спекл-фотографіях [5] добре видно за краєм тріщини вузьку стрічку та округлу зону з мікротріщинами, які можна ототожнювати з FPZ і зоною 3 відповідно на рис. 1.

Мета роботи. Модель МКР на основі ФПН. Розподіл ФПН уздовж зони r_p приймається як функція координати r (рис. 1)

$$\sigma_r = \sigma_m \left(r/a\right)^n e^{-n\left(r/a-1\right)},\ 0 \le r \le r_p, \qquad (1)$$

де початок осі r розташовується на краю О дійсної тріщини, вісь r з передбачуваним напрямком поширення тріщини, σ_m є максимальний опір матеріалу у FPZ, “a” – внутрішньо-структурний геометричний параметр матеріалу, n – параметр пластичних властивостей матеріалу. Для явно крихких матеріалів $n \ge 1$, для матеріалів, які мають значні пластичні властивості, $0 \le n < 1$.

При плоскому напруженому стані бетону приблизно приймається $\sigma_m = (1.3 \ldots 2) f_{ct}$, де f_{ct} є міцність бетону при осьовому розтягуванні, $n = 2$, параметр “a” ототожнюється з умовною критичною довжиною тріщини l_{cr}, що визначається за рекомендаціями [6],

$$\widetilde{l_{cr}} = k \cdot d_{\max}, \qquad (2)$$

У яких $d_{\max}$ – найбільша крупність заповнювача бетону, коефіцієнт $K = 1.4...1.7$ до 2.0 для щебня з граніту та діабазу, $K = 1.2...1.5$ для гравію з граніту та діабазу, $K = 1$ для м'яких гірських порід (вапняк). Для плоскої деформації параметри моделі ФПН вимагають уточнення.

У подальших розрахунках будуть потрібні нижче наведені залежності та умови.

Рівнодіюча сила ФПН у зоні r_p

$$N_{tp} = t\int_0^{r_p} \sigma_r dr = \sigma_m t a (e/2)^2 u(x_p), \qquad (3)$$

де $x_p = r_p / a$, t – товщина плоского елементу,

$$u(x_p) = 1 - (1 + 2x_p + 2x_p^2)e^{-2x_p}. \qquad (4)$$

Координата e_p точки прикладання сили N_{tp} (3)

$$e_p = (a/2)V(x_p)/u(x_p), \qquad (5)$$

де

$$u(x_p) = 3 - (3 + 6x_p + 6x_p^2 + 4x_p^3)e^{-2x_p}. \qquad (6)$$

Дія ФПН (1) обмежена зоною r_p, в якій розвиваються незворотні деформації та граничні напруження матеріалу. Поза зоною r_p при $r > r_p$ розташована зона пружного матеріалу, де напруження $\sigma_F(r)$ визначаються на основі механіки пружних тіл при дії зовнішніх навантажень F. Напруження $\sigma_r(r)$ і $\sigma_F(r)$ стикуються безперервно при $r = r_p$. Тому є важливою «Умова неперервності напружень» σ_r та σ_F (рис. 1)

$$\sigma_r(r_p) = \sigma_F(r_p) = \sigma_p. \qquad (7)$$

Для визначення критичного (граничного) навантаження плоских елементів з тріщиною використовується як базовий метод перерізів [7], на основі якого був розроблений «модифікований метод перерізів», де замість асимптотичного розподілу напружень у FPZ, прийнятому в [7], застосовується ФПН.

У методі перерізів в елементі, що розглядається проводиться уявний переріз через кінець О дійсної тріщини у напрямку її передбачуваного поширення. Далі розглядається рівновага зовнішніх і внутрішніх сил прикладених до однієї частини елементу, що відокремлена уявним перерізом. У рівняннях рівноваги використовуються ФПН (1), їх рівнодіюча сила (3), координата (5).

Метод перерізів [7] включає як додаткову залежність так звану «Умову компенсації напружень», тобто умову, що сила N_{ntr}, яка не передається через тріщину, компенсується силою (3)

$$N_{ntr} = N_{tp}. \qquad (8)$$

Сила N_{ntr} визначається із розгляду рівноваги елемента без тріщини як рівнодіюча напружень, прикладених на довжині тріщини і виникаючих під дією зовнішніх навантажень. Обґрунтування «Умови компенсації напружень» зв'язано з відомим способом розкладання напруженого стану елемента з тріщиною [8] на дві складові частини: перша є елемент без тріщини під дією зовнішніх навантажень елемента, що розглядається, друга є елемент з тріщиною, навантажений симетричними напруженнями (1), які прикладені до протилежних поверхонь в тріщині уздовж FPZ.

Система рівнянь, що включає рівняння рівноваги, умови (7) та (8), звичайно виявляється достатньою для визначення залежності «навантаження елементу F – довжина тріщини l», яка вирішує задачу міцності елементів з тріщиною. У протилежному випадку необхідно використовувати додаткові залежності, які враховують певні особливості елементу, що розглядається.

Запропонований метод розрахунку міцності плоских елементів з тріщинами є набагато простіше методів МКР на основі моделі пружно-пластичного тіла. Але і він вимагає чисельних вирішень, які можна реалізувати за допомогою відомих програм Table Processor MS Excel. Прості задачі вирішуються навіть на калькуляторі. При цьому запропонований метод виявляє значні достоїнства: задовільну збіжність з експериментальними даними і здібність передбачати поведінку тріщин у різноманітних елементах при різних навантаженнях та інших умовах (наявність арматури та інших гальмуючих тріщину факторів). Зокрема метод передбачає завжди спостерігаєме в дійсності початкове стійке підростання тріщин, їх раптове поширення, а також плавний поступовий розвиток в залежності від окремих умов. Ці достоїнства можна побачити у прикладах розрахунку, що наводяться нижче.

Задача Грифітса. Нескінчена пластина з прямолінійною тріщиною довжиною 2*l* роз-

тягується напруженнями σ, які прикладені нормально до тріщини на безкрайній відстані від неї (рис. 2,а).

Приводиться переріз А-В і розглядається рівновага напівплосткості (рис. 2,а). ФПН (1) з рівнодіючою силою (3) прикладаються біля обох кінців тріщини в зонах r_p. Поза зонами r_p, коли відстань x від центру тріщини збільшується, пружні напруження σ_{el} уздовж перерізу А-В асимптотично наближаються до величини σ. Згідно теорії пружності напруження [1]

$$\sigma_{el} = \sigma x \Big/ \left(x^2 - l^2\right)^{1/2}$$

більше тільки на 1% величини σ коли $x = \pm 7l$. Тому при $-7l \ge x \ge 7l$ приймається $\sigma_{el} = \sigma$ і рівновага напівплосткості може розглядатися тільки на ділянці $14l$ (рис. 2, а). При цьому на перехідній ділянці С приймається лінійна зміна напруження від σ_p до σ. Тоді рівняння рівноваги напівплосткості записується так

$$\sigma\left(l + r_p + c\right) - N_{tp} - 0.5\left(\sigma_p + \sigma\right)c = 0. \qquad (9)$$

Крім того застосовуються: умова неперервності напружень (7)

$$\sigma_p = \sigma_m x_p^2 e^{-2\left(x_p - 1\right)},\ x_p = r_p / a, \qquad (10)$$

Умова компенсації напружень (8)

$$\sigma l = N_{tp}, \qquad (11)$$

та геометричне співвідношення

$$l + r_p + c = 7l. \qquad (12)$$

Рівняння (9)-(12) визначають невідомі σ, σ_p, x_p, c.

У результаті залежність «навантаження σ – довжина тріщини l» виражається через параметр x_p із наступної системи рівнянь

$$\begin{cases} (l/a)^2 - \left[\psi\left(x_p\right) + 0.163 x_p\right](l/a) - 0.163 x_p \psi\left(x_p\right) & (13) \\ \sigma / \sigma_m = (e/2)^2 u\left(x_p\right) / (l/a) & (14) \end{cases}$$

де

$$\psi\left(x_p\right) = u\left(x_p\right) \Big/ \left(4 x_p^2 e^{-2x_p}\right), \qquad (15)$$

$u\left(x_p\right)$ знаходиться по формулі (4).

Призначаючи параметр x_p, обчислюється величина l/a з (13), після чого з (14) визначається σ/σ_m. Результати викладених розрахунків подані в таблиці 1.

Крива «$\sigma/\sigma_m - l/a$», що визначена по моделі ФПН і показана на рис. 2,б, порівнюється з аналогічними кривими Грифітса і Панасюка [1]. Остання отримана на основі $\delta_{\square}$-моделі, у якій на FPZ приймається рівномірний розподіл напруження σ_0-границі крихкої міцності матеріалу. Коли $l \to 0$ крива Грифітса приводить до фізично неможливого результату $\sigma \to \infty$, а крива Панасюка показує $\sigma \to \sigma_0$. Обидві ці криві мають тільки низхідну гілку. Навпаки крива моделі ФПН починається з висхідної гілки, яка досягає точного математичного максимуму при критичних величинах довжини тріщини $l_{cr}/a = 1.008$ і навантаження $\sigma_{cr}/\sigma_m = 0.691$. Далі

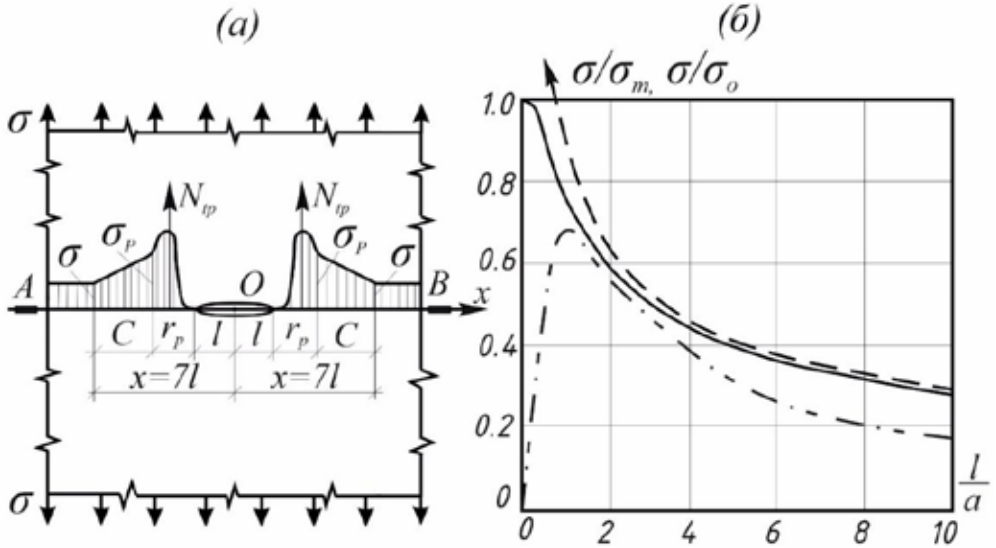


Рис. 2. Розтягнута нескінчена пластина з прямолінійною тріщиною (а) та її теоретичні криві $\sigma/\sigma_m - l/a$ (б): 1 – Грифітса, 2 – Панасюка, 3 – моделі ФПН

Таблиця 1. Точки кривої « $\sigma/\sigma_m - l/a$ » для задачі Грифітса згідно моделі ФПН

$x_p = r_p/a$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	2,0	2,5	2,9
l/a	0	0,126	0,270	0,438	0,636	1,008	1,716	3,192	5,961	10,020
σ/σ_m	0	0,116	0,324	0,508	0,629	0,691	0,621	0,441	0,271	0,171

іде низхідна гілка, що відповідає нестійкому поширенню тріщини і крихкому руйнуванню пластини. Наявність початкового стійкого підростання тріщин у процесі розвитку крихкого руйнування підтверджується експериментами [9-11] та багатьма іншими.

Довга розтягнута полоса з центральною тріщиною. Прямолінійний переріз А-В проводиться (рис. 3,а) і рівновага половини полоси розглядається. Ця задача вирішується аналогічно попередньої, але вона має особливість, пов'язану зі скінченністю ширини полоси $2b$. Тут поза зон $2b$ ділянки зі змінним напруженням можна не вводити і рівномірний розподіл напруження $2b$ є допустимим, коли ширина полоси скінченна.

• – експериментальні точки [10].

Невідомі величини σ, σ_p, r_p визначаються із системи рівнянь, що включає рівняння рівноваги

$$\sigma b - N_{tp} - \sigma_p\left(b - l - r_p\right) = 0, \qquad (16)$$

умову неперервності напружень (10) та умову компенсації напружень (11). Вилучаючи у (16) напруження σ та σ_p за допомогою (10) і (11), залежність довжини тріщини l від параметра x_p одержується у вигляді квадратного рівняння

$$(l/b)^2 - \left(1 + B - mx_p\right)(l/b) + B = 0, \qquad (17)$$

де $B = m\psi\left(x_p\right)$, $m = a/b$, $\psi\left(x_p\right)$ обчислюється із (15) та (4). Далі навантаження σ визначається на основі (10) і (11) по формулі

$$\sigma/\sigma_m = (e/2)^2 mu\left(x_p\right)/(l/b). \qquad (18)$$

Залежність $\sigma/\sigma_m - l/b$ знаходиться чисельно, призначаючи параметр x_p і обчислюючи l/b з (17) після чого σ/σ_m визначається з (18). При цьому обидва дійсні корені рівняння (17) потрібні, бо вони дозволяють виконувати розрахунки на повному інтервалі $0 \le l/b \le 1$. Дійсні корені рівняння (17) існують на обмеженому інтервалі параметра $0 \le x_p \le x_p^{\max}$, де $x_p^{\max}$ знаходиться із аналізу рівняння (17). Криві на рис. 3,б були визначені для дослідних зразків [10], для яких прийнято внутрішньо-структурний параметр $a = 1.25 \cdot d_{\max} = 1.25 \cdot 5 = 6.25 мм$ і параметр $m = 0.25$, коли знайдено $x_p^{\max} = 1.2$.

Залежність $\sigma/\sigma_m - l/b$ для розтягнутої полоси зі скінченною шириною має висхідну гілку (рис. 3,б) подібну гілці нескінченної пластини (рис. 2,б). Але низхідні гілки цих елементів дуже різні. У полоси скінченної ширини зона також скінченна і спадає до нуля

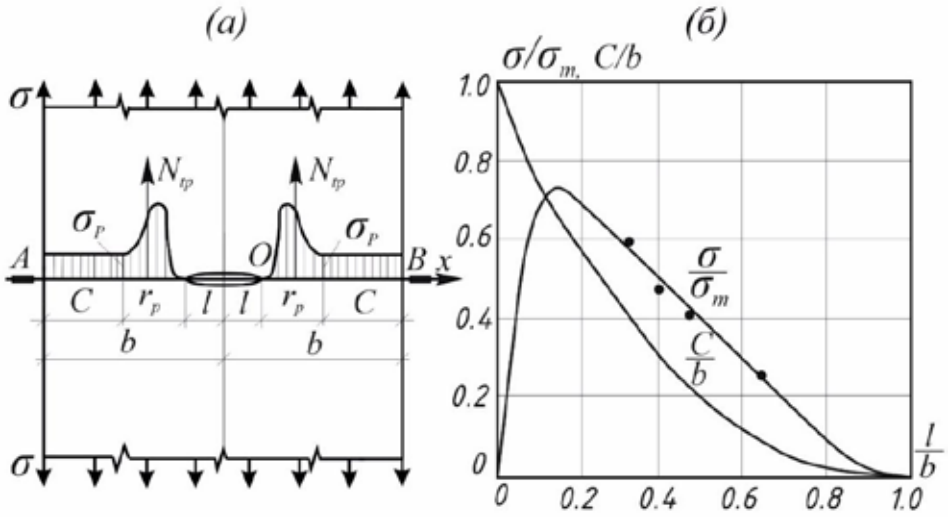


Рис. 3. Довга розтягнута полоса з центральною тріщиною та криві величин σ/σ_m і c/b у залежності від l/b (б).

при $l/b=1$, коли тріщина повністю розсікає її ширину (рис. 3,б). У нескінченної пластини безмежна низхідна гілка асимптотично наближається до нуля (рис. 2,б). Результати викладених розрахунків для дослідних зразків [10] подано в Таблиці 2, де величини l/b, σ/σ_m, c/b, що відповідають кореням 1 і 2 рівняння (17) позначено нижнім індексом відповідно.

Довга розтягнута полоса з однобічною тріщиною.

Проводиться переріз А-В (рис. 4,а) і розглядається рівновага половини полоси. ФПН прикладаються в зоні r_p, поза якою ділянка

$$c = 2b - l - r_p \qquad (19)$$

вважається пружною з напруженнями σ_p і σ_1 на її відповідних кінцях (рис. 4,а). Невідомі величини $\sigma, \sigma_p, \sigma_1, r_p$ визначаються з системи рівнянь, яка включає два рівняння рівноваги

$$\sum X = 0;\ \ 2b\sigma - N_{tp} + 0.5\left(\sigma_p + \sigma_1\right)c = 0 \qquad (20)$$

$$\sum M_c = 0;\ N_{tp}\left(b - l - e_p\right) - \sigma_c\, c\left(l + r_c - b/2\right)/3 - \\ -\sigma_1\, c\left(b + l + r_p\right)/6 = 0 \qquad (21)$$

умову неперервності напружень (10) та умову компенсації напружень (11). Вилучаючи у (20) величини $\sigma, \sigma_p, \sigma_1$ за допомогою (11), (10) та (21), залежність величини $l/2b$ від параметра x_p визначається у вигляді кубічного рівняння

$$\left(l/2b\right)^3 - \alpha\left(l/2b\right)^2 + \beta\left(l/2b\right) - \gamma = 0, \qquad (22)$$

з коефіцієнтами

$$\alpha = 2(1 - mx_p + B),\ \gamma = B(0.5 + mx_p),$$

$$\beta = \left(1 - mx_p\right)^2 + \left(1 + mx_p - 3e_p/2b\right)B,$$

Таблиця 2. Точки кривих $\sigma/\sigma_m - l/b$ та $c/b - l/b$ для розтягнутої полоси з центральною тріщиною

$x_p = r_p/a$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.10	1.15	1.17	1.19	1.20
l_1/b	0	0.019	0.046	0.083	0.136	0.220	0.286	0.336	0.364	0.406	0.441
σ_1/σ_m	0	0.188	0.476	0.670	0.734	0.680	0.609	0.556	0.526	0.483	0.449
c_1/b	1	0.930	0.854	0.767	0.664	0.530	0.439	0.377	0.344	0.296	0.260
l_2/b	1	0.949	0.895	0.836	0.768	0.680	0.645	0.567	0.540	0.499	0.465
σ_2/σ_m	0	0.004	0.024	0.066	0.130	0.220	0.283	0.329	0.354	0.393	0.426
c_2/b	0	0.001	0.005	0.014	0.032	0.070	0.110	0.145	0.167	0.204	0.236

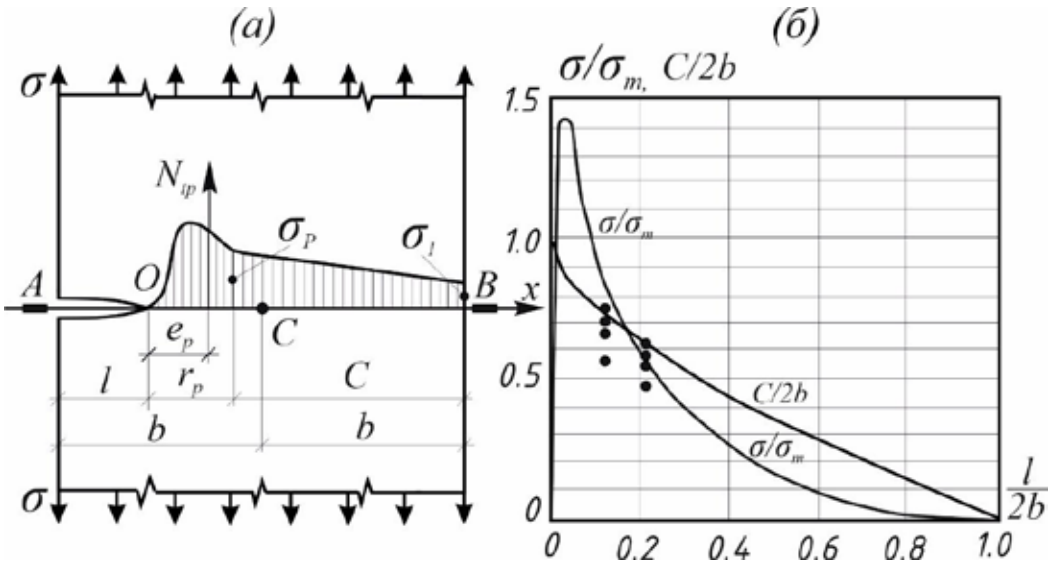


Рис. 4. Довга розтягнута полоса з однобічною тріщиною (а) та її криві величин σ/σ_m і $c/2b$ у залежності від $l/2b$ (б)

• – експериментальні точки [9].

у яких $B = m\psi(x_p)$, $m = a/2b$, ψx_p дивись (15), e_p відповідає (5). Залежність для навантаження σ виходить із (11) і (10)

$$\sigma/\sigma_m = (e/2)^2 mu(x_p)/(l/2b). \qquad (23)$$

У результаті, (22) та (23) утворюють залежність між σ/σ_m і $l/2b$ за допомогою параметра x_p. При цьому параметр x_p призначається і $l/2b$ визначається з (22), а σ/σ_m обчислюється із (23). Чисельне рішення було знайдено для дослідних зразків [9] з параметром $m = 0.125$. Два кореня рівняння (22) розглядалися на інтервалі $0 \le l/2b \le 1$ і на обмеженій множині параметра $0 \le x_p \le 1.4$, що витікає із аналізу (22) при $m = 0.125$. Розрахунки визначають довжину пружної зони полоси

$$c/2b = 1 - l/2b - mx_p$$

та напруження на кінцях її

$$\sigma_p/\sigma_m = (e)^2 x_p^2 e^{-2x_p},$$

$$\sigma_1/\sigma_m = 2(\sigma_p/\sigma_m)\omega/(0.5 + l/2b + mx_p),$$

де

$$\omega = 3B(0.5l/2b - e_p/2b)/(1 - l/2b - mx_p) - (l/2b + mx_p - 0.25).$$

Результати обчислювань для дослідних зразків в [9] подано у таблиці 3, де величини, знайдені по кореням 1 і 2 рівняння (22), позначені верхнім індексом відповідно номеру кореня.

Криві на рис. 4,б подібні кривим на рис. 3,б. Напруження σ_p на межі непружньої r_p і пружньої C зон є розтягуючим при будь-якій довжині тріщини (рис. 5). На відміну від напруження σ_p напруження σ_1 на правому кінці пружньої зони C виявляється розтягуючим тільки при досить малій довжині тріщини $l/2b \le 0.2$. Коли величина $l/2b$ зростає, напруження σ_1 стає стискаючим, але воно зберігається малим порівняно з міцністю бетону при осьовому стиску, що підтверджує можливість розгляду зони □ як пружньої.

Чистий вигин полоси з однобічною тріщиною. Через тріщину проводиться переріз А-В (рис. 6,а). У зоні r_p прикладається ФПН, а поза r_p матеріал припускається пружним.

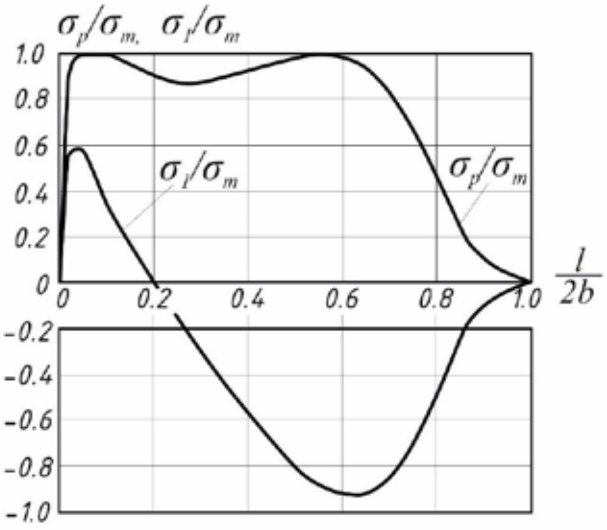


Рис. 5. Вплив довжини тріщини на напруження на кінцях пружньої зони розтягнутої полоси з однобічною тріщиною

Таблиця 3. Точки кривих σ/σ_m, $c/2b$, σ_p/σ_m, σ_1/σ_m у залежності від $l/2b$ для розтягнутої полоси з однобічною тріщиною

$x_p = r_p/a$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
$l^1/2b$	0	0.005	0.013	0.024	0.035	0.066	0.084	0.122	0.167	0.271
σ^1/σ_m	0	0.358	0.861	1.174	1.426	1.137	1.038	0.817	0.667	0.453
$c^1/2b$	1	0.970	0.937	0.901	0.865	0.809	0.778	0.728	0.680	0.554
σ_p^1/σ_m	0	0.198	0.531	0.801	0.955	1	0.991	0.965	0.928	0.881
σ_1^1/σ_m	0	0.174	0.410	0.536	0.563	0.478	0.328	0.245	0.099	-0.195
$l^2/2b$	1	0.863	0.785	0.712	0.637	0.556	0.511	0.461	0.372	0.289
σ^2/σ_m	0	0.002	0.014	0.039	0.078	0.134	0.170	0.216	0.299	0.424
$c^2/2b$	0	0.112	0.165	0.213	0.263	0.319	0.351	0.389	0.455	0.536
σ_p^2/σ_m	0	0.198	0.531	0.801	0.955	1	0.991	0.965	0.927	0.881
σ_1^2/σ_m	0	-0.209	-0.561	-0.829	-0.941	-0.896	-0.819	-0.706	-0.476	-0.246

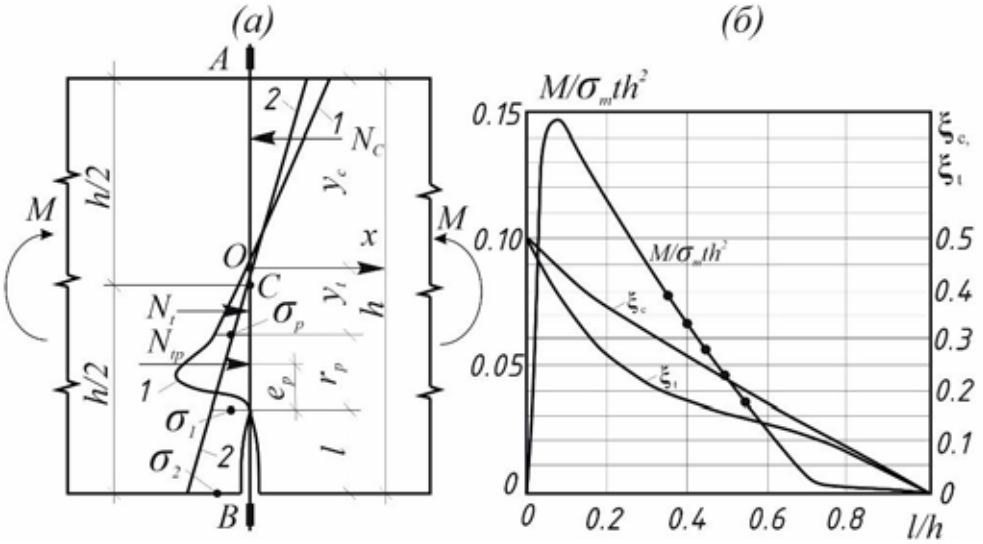


Рис. 6 (а). Напруження в перерізі полоси при чистому згини:

1,2 – відповідно при наявності та відсутності тріщини.

(б) Криві величин $M/\sigma_m t h^2$, ξ_c та ξ_t у залежності від l/h.

• – експериментальні точки [11].

Розглядається рівновага лівої частини полоси. Невідомі величини $M, r_p, \sigma_p, y_t, y_c$ визначаються із системи рівнянь, що включає два рівняння рівноваги $\sum X = 0$, $\sum M_0 = 0$, умову неперервності напружень (10), умову компенсації напружень (8) та геометричне співвідношення

$$h = l + r_p + y_t + y_c, \qquad (24)$$

Щоб отримати умову (8) розглядається рівновага полоси без тріщин. Використовуючи відому формулу нормального напруження в перерізі балки для визначення напружень σ_1 і σ_2 на кінцях ділянки перерізу, яку займає тріщина (рис. 6,а), можна записати так

$$0.5(\sigma_1 + \sigma_2) l \cdot t = N_{tp}, \qquad (25)$$

де $\sigma_1 = M(h/2 - l)/J$, $\sigma_2 = Mh/2J$

$J = th^3/12$, t, h – ширина і висота перерізу полоси.

Тоді умова (25) отримує вид

$$6\left(M/\sigma_m th^2\right)(1 - l/h)(l/h) - (e/2)^2 mu(x_p) = 0, \qquad (26)$$

де $m = a/h$, $u(x_p)$ знаходиться із (4).

Рівняння рівноваги лівої частини полоси (рис. 6,а) записується так

$$-0.5\sigma_p\left(y_c^2 - y_t^2\right)/y_t + N_{tp} = 0, \qquad (27)$$

$$M - \sigma_p t\left(y_c^3 - y_t^3\right)/3y_t - N_{tp}\left(y_t + r_p - e_p\right)t = 0, \qquad (21)$$

де N_{tp}, σ_p, e_p визначаються із (3), (10), (5) відповідно.

Висоти стиснутої y_c і розтягнутої y_t пружних зон (рис. 6,а) виражаються через величини x_p і l по формулам

$$\xi_c = y_c/h = A(1 + 0.5A)/(A + B),$$

$$\xi_t = y_t/h = 0.5A/(A + B), \qquad (29)$$

де $A = 1 - mx_p - l/h$, $B = m\psi(x_p)$, $\psi(x_p)$ відповідає (15).

Вилучаючи M у (28) за допомогою (26) і враховуючи (29), зв'язок довжини тріщини l з параметром x_p виявляється у вигляді рівняння п'ятої степені

$$(l/h)^5 - a_4(l/h)^4 + a_3(l/h)^3 - a_2(l/h)^2 + a_1(l/h) - a_0 = 0 \qquad (30)$$

з коефіцієнтами

$$\alpha_4 = 1 + 3\alpha + 5B,\ a_0 = B(\alpha + B)$$

$$a_3 = 3\alpha(1 + \alpha) + 5B(1 + 2\alpha) + 4B^2 + 6B\left(mx_p - e_p/h\right)$$

$$a_2 = \alpha^2(3 + \alpha) + 5B\alpha(2 + \alpha) + 4B^2(1 + \alpha) + 6B(1 + \alpha + \beta)\left(mx_p - e_p/h\right)$$

$$a_1 = \alpha^3 + 5B\alpha^2 + 4B^2\alpha + 6B(\alpha + \beta)\left(mx_p - e_p/h\right)$$

у яких $\alpha = 1 - mx_p, B, m, e_p$ визначені вище.

Рівняння (26) і (30) зв'язують згинальний момент M з довжиною тріщини l за допомогою параметра x_p. Залежність $M - l$ знаходиться чисельно, призначаючи x_p і обчис-

люючи l з (30), після чого M визначається з (26). Два менших кореня рівняння (30) враховувались на інтервалі $0 \le l/h \le 1$. Обчислення були виконані для дослідних балок [11] при $m = 1/9$ коли підхожі корені рівняння (30) існують на обмеженому інтервалі $0 \le x_p \le 1.45$. Результати обчислювань подані в таблиці 4, де величини, що знайдені по кореням 1 і 2 рівняння (30), позначені нижнім індексом, що відповідає номеру кореня.

Крива «$M/\sigma_m t h^2 - l/h$» зігнутого елементу з однобічною тріщиною (рис. 6,б) подібна аналогічним кривим «навантаження – довжина тріщини» інших елементів, що розглянуті вище: вона має початкову висхідну гілку, яка досягає при критичних довжині тріщини і навантаженні, після чого іде падаюча до нуля низхідна гілка, пов'язана з крихким руйнуванням елемента. Висоти стиснутої та розтягнутої зон у перерізі зменшуються разом з ростом тріщини від $y_c = y_t = 0.5h$ до нуля, коли тріщина повністю розсікає переріз елемента.

Результати досліджень. Зіставлені теоретична міцність з експериментальною. Знайдена теоретична міцність розглядаємих елементів з тріщиною була порівняна з експериментальною.

Розтягнуті елементи з центральною тріщиною [10] мали переріз $50 \times 50 мм$, довжину центрального розрізу $2l_{cut} = 5,10,15,20,30 мм$ і максимальну крупність заповнювача бетону $d_{\max} = 5 мм$. Зразки з $2l_{cut} = 5 мм$ були нечутливі до розрізу і тому ураховувались дані тільки зразків з $2l_{cut} = 10,15,20,30 мм$.

Штучні розрізи у бетонних елементах не є тотожними натуральним тріщинам бо не мають натуральної FPZ, яка розвивається при навантаженні після певного приросту Δl розрізу. На основі моделі ФПН визначена формула для оцінки цього приросту

$$\Delta l = l_{cr}\left(1 - l_{cut}/b\right), \qquad (31)$$

де l_{cr} – критична довжина тріщини для розглядаємого елементу, що знаходиться згідно моделі ФПН, l_{cut} – довжина розрізу, яка відповідає довжині тріщини елементу з характерним розміром "b". Для дослідних елементів [10] за допомогою таблиці 2 визначаємо $l_{cr} = 0.136 \cdot 25 = 3.4 мм$. У результаті на рис. 3,б точки дослідних величин σ^{test}/σ_m відповідають довжині тріщини $l = l_{cut} + \Delta l$, де Δl обчислена із (31). Експериментальні точки на рис. 3,б є середніми для 4 або 6 дослідних зразків. Знайдено середнє відношення $\sigma^{calc}/\sigma^{test}$ (теорія/дослід), що дорівнює 1.032, коефіцієнт варіації 1.712%.

Розтягнуті бетонні призми з однобічною тріщиною у дослідах [9] мали переріз $20 \times 20 мм$, довжину розрізів l_{cut} 20 і 40*мм*, найбільшу крупність заповнювача бетону 20*мм*. Дослідні точки відношення σ^{test}/σ_m на рис. 4,б розміщуються з урахуванням приросту розрізів згідно (31), де за допомогою таблиці 3 знайдено $l_{cr} = 0.035 \cdot 200 = 7 мм$. Зразки з розрізом 40мм виявили середнє відношення $\sigma^{calc}/\sigma^{test} = 0.997$, коефіцієнт варіації 8.48%.

Для зразків з розрізом 20*мм* знайдено середнє відношення $\sigma^{calc}/\sigma^{test} = 0.920$, коефіцієнт варіації 7.03%.

У роботі [11] випробовувалися на чотирьохточковий згин 26 бетонних балок з перерізом $152 \times 203 мм$ і прольотом $L = 780 мм$. Довжина зони чистого вигину $L/2$. Штучні розрізи розміщувались посередині прольоту і мали довжину 30, 35, 40, 45, 50% висоти перерізу балок. Найбільша крупність заповнювача

Таблиця 4. Точки кривих $M/\sigma_m t h^2$, $\xi_{\square}$ та ξ_t залежності від l/h для полоси з однобічною тріщиною при чистому згині

$x_p = r_p/a$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.45
l_1/h	0	0.008	0.020	0.035	0.055	0.082	0.122	0.196	0.275
ξ_{c1}	0.5	0.498	0.477	0.464	0.450	0.434	0.413	0.376	0.336
ξ_{t1}	0.5	0.481	0.459	0.434	0.406	0.373	0.331	0.272	0.228
$M_1/\sigma_m t h^2$	0	0.032	0.084	0.123	0.143	0.147	0.137	0.115	0.095
l_2/h	1	0.760	0.685	0.632	0.568	0.507	0.433	0.334	0.263
ξ_{c2}	0	0.113	0.144	0.165	0.192	0.219	0.255	0.305	0.342
ξ_{t2}	0	0.105	0.127	0.137	0.151	0.163	0.173	0.205	0.234
$M_2/\sigma_m t h^2$	0	0.0015	0.0038	0.018	0.030	0.044	0.060	0.082	0.098

бетону 19*мм*. Приріст розрізів Δl був урахований згідно (31), де за допомогою таблиці 4 застосовувалась $l_{cr} = 0.082 \cdot 203 = 16.6 мм$. На рис. 6,б дослідні точки розміщуються з урахуванням довжини тріщини $l = l_{cut} + \Delta l$. При цьому кожній дослідній точці відповідають дані 4 або 6 зразків. Знайдено середнє відношення $M^{calc} / M^{test} = 1.008$ і коефіцієнт варіації 10.73%.

Висновки. Модель ФПН зосереджується на підвищенні точності опису напруженого стану у FPZ, де проявляється специфіка окремих матеріалів, врахування якої вимагає використання трьох параметрів, що відображають різнобічні властивості структури матеріалу. Модель ФПН виявляє значення критичної довжини тріщини l_{cr} як критерія крихкого руйнування, що визначається не тільки параметрами матеріалу, а ще й особливостями конкретного елементу. Запропонований метод розрахунку дозволяє простежувати процес руйнування елементу від початкових стійких стадій до повного припинення його опору зовнішньому навантаженню. Модель ФПН може бути узагальнена на тримірні елементи. Одержані результати свідчать про позитивну перспективу моделі ФПН особливо після старанного вивчення параметрів матеріалу, наближені величини яких для бетону були використані вище.

Література

1. Панасюк В.В. Гранична рівновага крихких тіл із тріщинами. Київ: Наукова думка, 1968. 247 с.
2. Bazant Z.P. Concrete fracture models: testing and practice. *Eng. Fracture Mech.* 2002. 56. P. 165-205.
3. Hillerborg A., Modeer M., Peterson P.F. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture and finite elements. *Cement concrete Res.* 1976. N6. P. 773-788.
4. Bazant Z.P. Crack band model for fracture of geomaterials // 4th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics (Edmonton, Alberta, 1982). Ed. Eisenstein Z. 1982. 3. P. 1137-1152.
5. Rosati G.P., Meda A., Guerrini G.L. Strength and brittleness of high-performance concrete slabs // 5th Int. Symp. on Utilization of HS/HP concrete (Sandefjord, Norway, 1999). Ed. Holland I. and Sellevold E.J. 1999. 1. P. 588-597.
6. Maekawa, K., Ishida, T., & Hisada, Y. (2000). A two-parameter model for concrete failure under tensile loading incorporating material structure and creep. Engineering Fracture Mechanics, 65(2-3), P. 135-150.
7. Tada, H., Paris, P.C. & Irwin, G.R. (2000). The Stress Analysis of Cracks Handbook. 3rd Edition. ASME Press, New York.
8. Bueckner H.F. The propagation of cracks and the energy of elastic deformation. *Trans. ASME.* 1958. 80. № 6. P. 1225-1230.
9. Liu, J., & Li, J. (2015). Critical crack length in concrete-like materials under tensile loading: An analytical solution. Engineering Fracture Mechanics, 139, P. 124-132.
10. Пак А.П., Трапезніков Л.П. Експериментальна перевірка гіпотези узагальненого нормального відриву. *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. 1979. № 3. С. 118-120.
11. Alam M.R., Azad M.A., Kadir M.A. Fracture toughness of plain concrete specimens made with industry-burnt brick aggregate. *J. of Civil Eng. (IEB)*. 2010. 38(1). P. 81-94.

References

1. Panasiuk V.V. Hranychna rivnovaha krykhkykh til iz trishchynamy. Kyiv: Naukova dumka, 1968. 247 s.
2. Bazant Z.P. Concrete fracture models: testing and practice. *Eng. Fracture Mech.* 2002. 56. P. 165-205.
3. Hillerborg A., Modeer M., Peterson P.F. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture and finite elements. *Cement concrete Res.* 1976. N6. P. 773-788.
4. Bazant Z.P. Crack band model for fracture of geomaterials // 4th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics (Edmonton, Alberta, 1982). Ed. Eisenstein Z. 1982. 3. P. 1137-1152.
5. Rosati G.P., Meda A., Guerrini G.L. Strength and brittleness of high-performance concrete slabs // 5th Int. Symp. on Utilization of HS/HP concrete (Sandefjord, Norway, 1999). Ed. Holland I. and Sellevold E.J. 1999. 1. P.588-597.
6. Maekawa, K., Ishida, T., & Hisada, Y. (2000). A two-parameter model for concrete failure under tensile loading incorporating material structure and creep. Engineering Fracture Mechanics, 65(2-3), P. 135-150.
7. Tada, H., Paris, P.C. & Irwin, G.R. (2000). The Stress Analysis of Cracks Handbook. 3rd Edition. ASME Press, New York.
8. Bueckner H.F. The propagation of cracks and the energy of elastic deformation // Trans. ASME. – 1958. – 80. № 6. – P. 1225-1230.
9. Liu, J., & Li, J. (2015). Critical crack length in concrete-like materials under tensile loading: An analytical solution. Engineering Fracture Mechanics, 139, P. 124-132.
10. Pak A.P., Trapeznikov L.P. Eksperymentalna perevirka hipotezy uzahalnenoho normalnoho vidryvu. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv*. 1979. № 3. S. 118-120.
11. Alam M.R., Azad M.A., Kadir M.A. Fracture toughness of plain concrete specimens made with industry-burnt brick aggregate. *J. of Civil Eng. (IEB)*. 2010. 38(1). P. 81-94.

STRENGTH DESIGN OF CONCRETE ELEMENTS WITH CRACKS ON THE BASIS SPECIAL STRESS DISTRIBUTION BEFORE CRACK EDGE

Abstract. *It is noted the demerits of known Fracture Mechanics (FM) models, for overcoming of which the special stress distribution on the crack Fracture Process Zone (FPZ) is grounded. This stress was called "Physically Verisimilar Stress (PVS)" and the one is assumed as a basis of the being offered FM model, which uses three material parameters: first force* σ_m*, second geometric "a" and third dimensionless n, taking into account plastic properties of material. Approximate values of the pointed-out parameters are given.*

For strength problem solving the method of sections is used, but the known version of the one is substituted for the "modified method of sections", in which instead of the asymptotic stress distribution on the FPZ the PVS is used. Despite the use of three material parameters, the FM model on the basis the PVS and modified method of sections lead to acceptable in practice method of strength design of plane concrete and reinforced concrete elements with cracks. The offered PVS model and design method allow to predict the cracks behavior with consideration their initial stable grooving up to the critical crack length and critical load. The paper states the PVS model gist, examples of designs and shows sufficient nearness of theoretic strength to experimental one. The methods of tests for determination of the PVS model material parameters are not considered here.

Key words: brittle fracture mechanics, stress, calculation method.

Mitrofanov V.P.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief,
Center for Advanced Design Methods of Concrete Structures, Poltava

Mytrofanov P.B.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Building Structures
of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Construction and Land Management,
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava

УДК 624.046:624.044:539.383:691.327:666.973.6
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.3

Постернак О.О.
к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Кравченко С.А.
к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій і транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Уразманова Н.Ф.
асистент кафедри архітектурних конструкцій
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Агаєва О.А.
к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд,
Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса

Столевич І.А.
к.т.н., доцент, доцент кафедри опору матеріалів
Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса,

РОБОТА СТІНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО БЕЗАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ В УМОВАХ ПОЗАЦЕНТРОВОГО СТИСКУ

Анотація. *Значне подорожчання енергоносіїв призвело до зниження об'ємів будівництва. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є розробка й впровадження нових ефективних, енергозберігаючих технологій будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. У роботі виконане дослідження стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону в умовах позацентрового стиску. Визначений характер утворення і розвитку тріщин, а також руйнування одношарових стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону. Виконано оцінку впливу армування на несучу здатність таких елементів. При виконанні експерименту спостерігали й фіксували на моделях стінових елементів розвиток тріщин з метою дослідження характеру руйнування стінових елементів з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону. Моделі стінових елементів руйнувалися наступним чином: на бічній поверхні більш навантаженої грані спостерігалася поява й розвиток вертикальних тріщин у середній і приопорній ділянках зразка, які ставали надалі магістральними. На торцевих гранях тріщини розвивалися менш інтенсивно. Вертикальні тріщини розвивалися переважно в приопорних ділянках ближче до більш навантаженої грані зразка. На менш навантаженій грані тріщини практично не виникали. Для вивчення впливу армування проаналізовано величини відносних погрішностей несучої здатності моделей стінових елементів і коефіцієнта* α*, використовуваного при розрахунках пінобетонних стінових елементів на дію стискаючої поздовжньої сили.*

Ключові слова: ніздрюватий бетон, конструкційно-теплоізоляційний безавтоклавний пінобетон, стінові елементи, тріщини, руйнування.

Постановка проблеми. Досвід застосування виробів і конструкцій з ніздрюватих бетонів у будівництві показує, що в основі їх виробництва лежить енергозберігаюча технологія, а за будівельно-експлуатаційними показниками ніздрюватобетонні вироби і конструкції відносяться до високоефективних. Значне подорожчання енергоносіїв призвело

до зниження обсягів будівництва. Одним з можливих шляхів виходу з тривалого будівельного спаду є розробка й впровадження нових ефективних, енергозберігаючих технологій будівельних матеріалів, виробів і конструкцій. Найбільш перспективними конструкційно-теплоізоляційними виробами й конструкціями, визнаними будівельниками в більшості країн Європи, є вироби і конструкції з ніздрюватих бетонів, зокрема і з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону (далі по тексту КТ НПБ) [1...4]. Найпоширенішими конструкціями з цього матеріалу є стінові елементи, розрахунки яких виконуються згідно норм [5].

В умовах енергетичної кризи теплозахисні властивості конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону мають першочергове значення, оскільки витрати на утримання будинків при постійно зростаючій вартості енергоресурсів усе більше визначаються витратами на опалення й кондиціювання. Ця обставина дозволяє віднести КТ НПБ до стратегічного матеріалу в питаннях енергозбереження.

Теплопровідність КТ НПБ в 3...4 рази менше, ніж теплопровідність цегли, і в 5...7 раз менше ніж керамзитобетону; його застосування дозволяє зводити одношарові зовнішні стіни товщиною у 0,4...0,5 м, у всіх кліматичних зонах України. За теплотехнічними показниками такі зовнішні стіни відповідають сучасним вимогам енергозбереження у знов зведених будинках, що дозволяє скоротити масу стін в 2...4 рази. Сам КТ НПБ має унікальні властивості, а за шкалою комфортності будівельних матеріалів займає після дерева друге місце [2,3].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями ніздрюватих бетонів, зокрема конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону останнім часом займаються у багатьох країнах Європи, Канаді, Малайзії.

Відомо, що міцність ніздрюватого бетону залежить від міцності міжпорових перегородок і загальної пористості. Також на міцність ніздрюватого бетону виявляють вплив характеристики порової структури – розмір гнізд і їх статистичний розподіл по розмірах. При дрібних порах (менш 0,5-1 мм) ніздрювата структура відрізняється більшою сполученістю гнізд і стає близькою до великокапилярної. У цілому це приводить до падіння міцності ніздрюватого бетону. При великопоровій будові велике значення набуває масштабний фактор і неоднорідність порового складу ніздрюватого бетону, які також приводять до зниження міцності. Структура ніздрюватого бетону подібна стільникової, з порожнечами різного розміру (сферичної або овальної форми) при цьому товщина стінок між порами менше радіуса порожнин. У результаті зусилля передаються вертикальними стінками в місцях їх перетинання зі стінками суміжного ярусу. Створюється складний напружений стан, у вертикальних стінках виникають крім нормальних стискаючих напруг значні сколюючі напруження. Наявність в елементах стільникової структури деформацій стиску й зрушення пояснює той факт, що руйнування ніздрюватого бетону відбувається, коли деформації перевищують граничні деформації матеріалу в щільному стані при однорідному стиску. Таким чином, критерієм руйнування структури може бути досягнення напруженнями межі міцності матеріалу при стиску або досягнення головними розтягувальними напругами в міжпорових перегородках межі міцності матеріалу при розтяганні. Обидва види руйнування пов'язані з появою тріщин у площинах, паралельних напрямку дії стискаючої сили. Крім того, мають місце й "придбані" дефекти (технологічні) – тріщини й мікротріщини, що виникають під час формування виробів, тепловологісної обробки або експлуатації. Вони створюють додаткову концентрацію напружень і є зародками руйнування. Процес руйнування ніздрюватого бетону починається з розриву елементарних хімічних зв'язків і закінчується руйнуванням мембран і їх сукупностей у результаті утворення й розвитку тріщин.

Мета роботи. Метою статті є дослідження характеру утворення і розвитку тріщин, а також руйнування одношарових стінових елементів з КТ НПБ, що працюють в умовах позацентрового стиску, а також оцінці впливу армування на несучу здатність таких елементів.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є стінові елементи з КТ НПБ, більшість яких працює в умовах позацентрового стиску. На думку авторів, їх робота вивчена в недостатньому ступені, оскільки дослідження стінових елементів з даного виду ніздрюватого бетону виконувалися лише при умовному центральному стиску [6, 7].

В експерименті в якості в'яжучого застосовувався портландцемент марки ПЦ І – 500. В якості наповнювача прийнятий дрібний кварцовий пісок з різною питомою поверхнею S_y=200, 400 і 600 м²/кг, попередньо розмелений у кульовому млині (табл. 1). Як заповнювач для дослідних зразків застосовувався річковий пісок, а в якості піноутворювача – ПБ-2000.

Для дослідження напружено-деформованого стану експериментальних моделей стінових елементів використовувалися дротяні тензорезистори на паперовій основі з базою 50 мм (ТР1...ТР60), які підключалися до автоматизованого комплексу. Для додаткового виміру зазначених деформацій з метою контролю на бічні грані моделі встановлювали індикатори годинникового типу: Т1, Т2, Т5, Т6 на базі 400 мм із ціною поділки 0,01 мм (поздовжні деформації), Т3, Т4, Т7, Т8 на базі 600 мм із ціною поділки 0,001 мм (поперечні деформації). Для контролю горизонтального зсуву моделей із площини (прогин у горизонтальному напрямку) по вертикальній осі бічної грані встановлювали прогиноміри П1...П3 із ціною поділки 0,01мм. Під час витримки зразка під навантаженням, аж до руйнування, велося візуальне спостереження за тріщинами. Їх поява і ширина розкриття фіксувалась за допомогою переносного мікроскопу МПБ-2 з 24-х кратним збільшенням.

Дослідні моделі стінових елементів (рис. 1, табл. 2) армувалися зварними просторовими каркасами з арматурного дроту класу Вр-1 діаметром 4 мм (СП – $1_А$...СП – $11_А$) і арматури гладкого профілю класу А240С діаметром 6 мм (СП – $1_Б$...СП – $11_Б$). При цьому моделі стінових елементів у поздовжньому напрямку армувалися п'ятьма стрижнями

Таблиця 1. Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал зміни
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Кількість наповнювача (Н), %	X_1	5	10	15	5
Дисперсність наповнювача (S_y), м²/кг	(W_1; W_2; W_3)	200	400	600	200

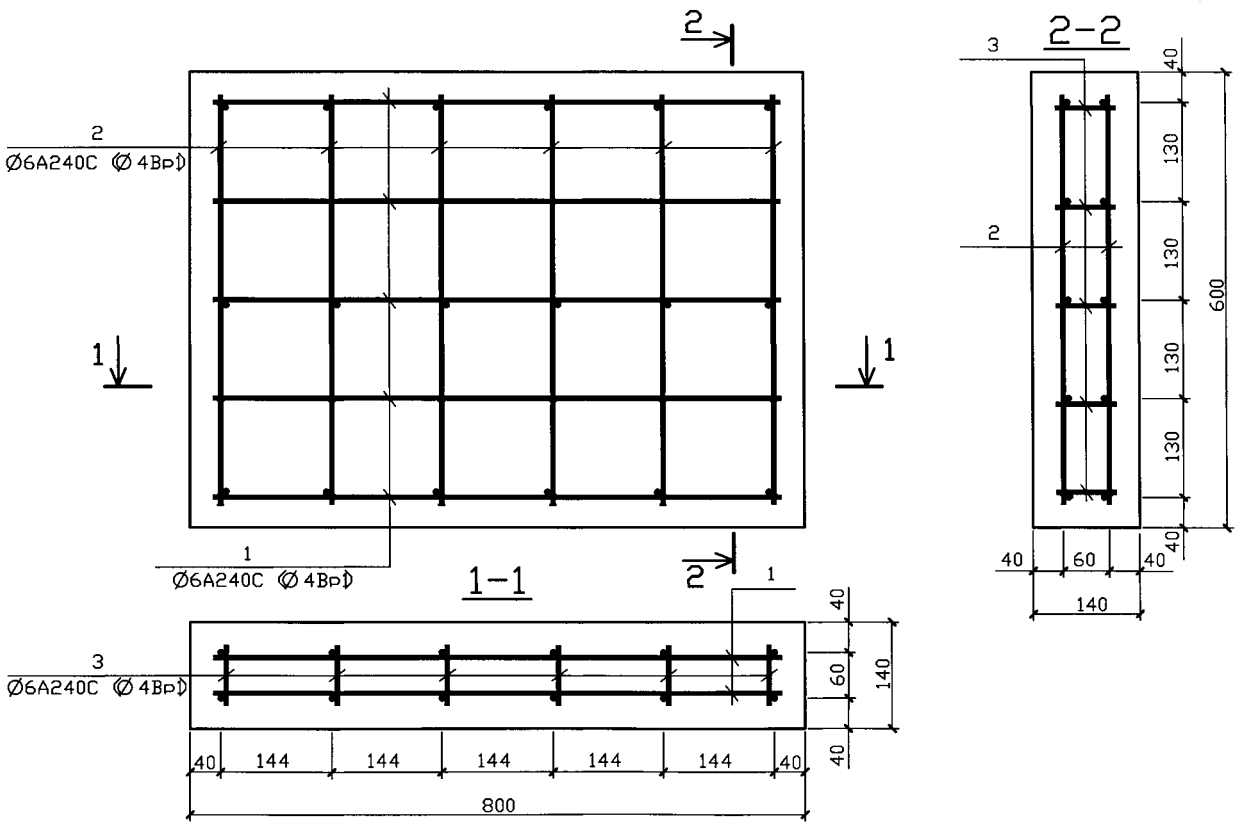


Рис. 1. Схема армування дослідних зразків – моделей стінових елементів

з кроком 130 мм, а в поперечному – шістьома стрижнями з кроком 144 мм.

Для вивчення впливу армування слід проаналізувати величини відносних погрішностей несучої здатності моделей стінових елементів і коефіцієнта α, використовуваного при розрахунках пінобетонних стінових елементів на дію стискаючої поздовжньої сили.

Відносна погрішність між величинами несучої здатності моделей стінових елементів з різним армуванням $СП1_А$...$СП11_А$ (Ø4Вр – 1; ρ_f=0,14) і $СП1_Б$...$СП11_Б$ (Ø6А240С; ρ_f=0,30) змінюється в межах 0,47...3,99% і представлена в табл. 3.

При цьому для всіх дослідів, крім досліду № 4 ($\varepsilon_{N^{exp}}$=3,99%), зміна відносних погрішностей склала 0,47...2,68%, отже, вплив конструктивного армування малий, як при зміні кількості й дисперсності наповнювача (досліди №№ 1...10) так і без застосування наповнювача (дослід № 11 – 1,13%).

Відносна погрішність між величинами коефіцієнта α моделей стінових елементів з різним армуванням $СП1_А$...$СП11_А$ і $СП1_Б$...$СП11_Б$ змінюється в межах 0,49...3,34% і представлена в табл. 2.

При цьому для всіх дослідів, крім дослідів №№ 4...6 ($\varepsilon_{\alpha^{exp}}$=3,08...3,34%), зміна відносних погрішностей склала 0,49...2,42%, отже, вплив конструктивного армування малий, як при зміні кількості наповнювача і його дисперсності (досліди №№ 1...10) так і без застосування наповнювача (дослід № 11 – 0,65%).

При виконанні експерименту спостерігали й фіксували на моделях стінових елементів розвиток тріщин з метою дослідження характеру руйнування стінових елементів із КТ НПБ. Моделі стінових елементів (рис. 2) руйнувалися таким чином: на бічній поверхні більш навантаженої грані спостерігалася поява й розвиток вертикальних тріщин у середній і приопорній ділянках зразка, які ставали надалі магістральними. На торцевих гранях тріщини розвивалися менш інтенсивно. Вертикальні тріщини розвивалися переважно в приопорних ділянках ближче до більш навантаженої грані зразка. На менш навантаженій грані тріщини практично не виникали.

Висновки. Визначено, що руйнування всіх стінових елементів відбулося в результаті вичерпання несучої здатності КТ НПБ у середній або приопорній зоні. Проведений аналіз дозволяє укласти, що спочатку руйнування носить локальний характер, а надалі, з ростом навантаження, відбувається дуже швидке "лавинне" об'єднання тріщин, що пояснюється високою структурно-механічною неоднорідністю бетону. Перші видимі

Таблиця 2. Характеристики дослідних зразків – моделей стінових елементів

Найменування	Позначення	Од. вим.	Величина
Захисний шар бетону	a	мм	40
Коефіцієнт армування $СП–1_А$...$СП–11_А$	μ_s	%	0,14
Коефіцієнт армування $СП–1_Б$...$СП–11_Б$			0,30

Таблиця 3. Величини відносних погрішностей за коефіцієнтом α і несучої здатності моделей стінових елементів

№ досліду	$N_А^{exp}$, Н	$N_Б^{exp}$, Н	$\varepsilon_{N^{exp}}(А-Б)$, %	$\alpha_А^{exp}$	$\alpha_Б^{exp}$	$\varepsilon_{\alpha^{exp}}(А-Б)$, %
1	313000	305000	2,56	0,831	0,814	2,05
2	488000	498000	2,01	0,800	0,804	0,50
3	422000	424000	0,47	0,876	0,886	1,13
4	451000	433000	3,99	0,853	0,826	3,16
5	348000	339000	2,59	0,868	0,839	3,34
6	290000	298000	2,68	0,818	0,843	3,08
7	149000	151000	1,32	0,805	0,809	0,49
8	383000	390000	1,80	0,943	0,960	1,77
9	344000	338000	1,74	0,825	0,805	2,42
10	312000	316000	1,27	0,932	0,954	2,31
11	355000	351000	1,13	0,764	0,759	0,65

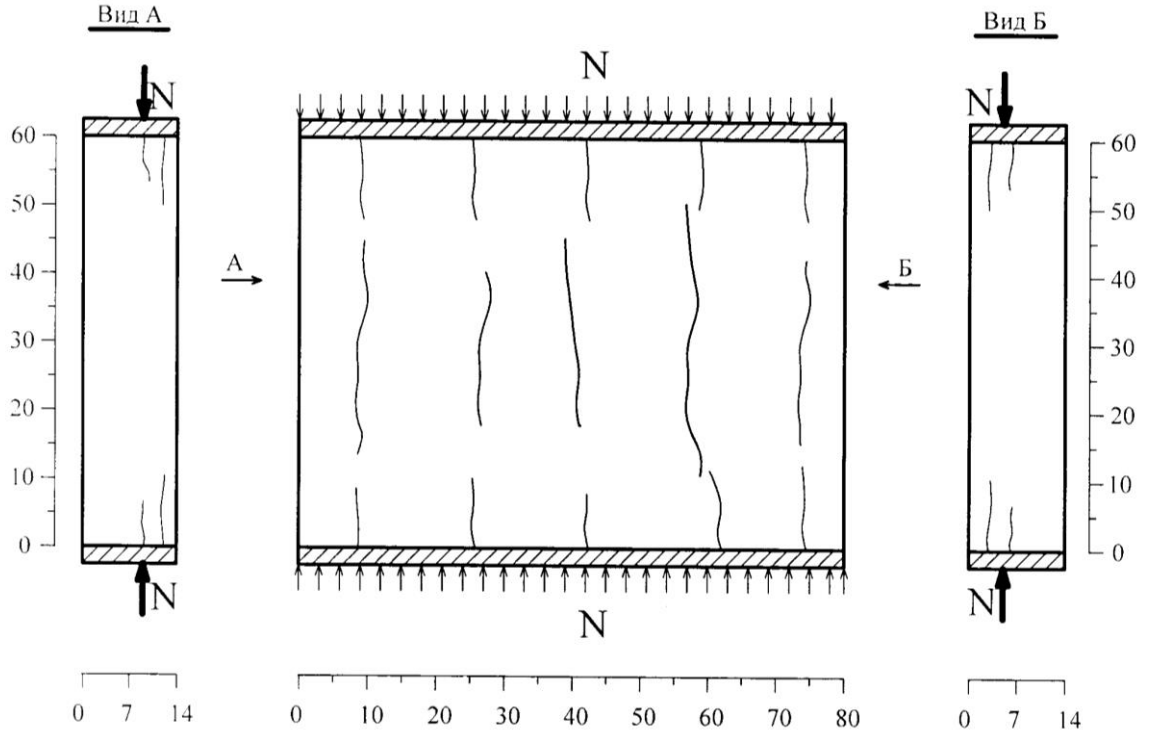


Рис. 2. Схема руйнування моделей стінових елементів, що працюють в умовах позацентрового стиску

тріщини виникли при навантаженнях 0,71-0,8 від руйнуючого.

Аналіз впливу армування, при різному виді арматурного прокату й коефіцієнті армування, показав, що відносні зміни по несучій здатності (до 3,99%) і коефіцієнту α (до 3,34%) не мають істотного впливу, отже, несуча здатність і коефіцієнт α залежать від кількості й дисперсності мінерального наповнювача і не залежить від армування.

Література

1. Позняк О. Р. Виробництво, властивості і застосування газобетону неавтоклавного тверднення / О. Р. Позняк, В. М. Мельник, І. О. Завадський, А. Я. Мельник. *Вісник Нац. ун-ту Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва.* 2017. № 877. С. 160–166.

2. Саницький М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посібник / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак. Львів. Видавництво Львівської політехніки. 2013. 236 с.

3. Опекунов В. В. Пористі композиційні матеріали та їх використання у будівництві. К., Академія будівництва України. 2006. 85 с.

4. Namsone E. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete / E. Namsone, G. Sahmenko, A. Korjakins. *Procedia Engineering*. 2017. N. 172. P.760 -767.

5. Посібник з проектування бетонних і залізобетонних конструкцій з ніздрюватих бетонів / НДІЗБ. 1986. 92 с.

6. Постернак О.О. Стінові конструкції з конструкційно-теплоізоляційного безавтоклавного пінобетону для малоповерхового будівництва. О.О. Постернак, А.І. Костюк. *Вісник ОДАБА*. 2016. Вип. 61. С. 353–357.

7. Постернак О.О. Пінобетонні стінові елементи для малоповерхового будівництва. О.О. Постернак, А.І. Костюк, С.А. Кравченко. *Збірник тез доповідей 78-ї науково-тіхнічної конференції професорсько-викладацького складу академії.* Одеса. ОДАБА. 2022. С. 75.

References

1. Pozniak O. R. Vyrobnytstvo, vlastyvosti i zastosuvannia hazobetonu neavtoklavnoho tverdnennia / O. R. Pozniak, V. M. Melnyk, I. O. Zavadskyi, A. Ya. Melnyk. *Visnyk Nats. un-tu Lvivska politekhnika. Teoriia i praktyka budivnytstva*. 2017. № 877. S. 160–166.

2. Sanytskyi M. A. Enerhozberihaiuchi tekhnolohii v budivnytstvi : navch. posibnyk / M. A. Sanytskyi, O. R. Pozniak, U. D. Marushchak. Lviv. *Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky*. 2013. 236 s.

3. Opekunov V. V. Porysti kompozytsiini materialy ta yikh vykorystannia u budivnytstvi. K., Akademiia budivnytstva Ukrainy. 2006. 85 s.

4. Namsone E. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete / E. Namsone, G. Sahmenko, A. Korjakins. *Procedia Engineering*. 2017. N. 172. P. 760–767.

5. Posibnyk z proektuvannia betonnykh i zalizobetonnykh konstruktsii z nizdriuvatykh betoniv / NDIZB. 1986. 92 c.
6. Posternak O.O. Stinovi konstruktsii z konstruktsiino-teploizoliatsiinoho bezavtoklavnoho pinobetonu dlia malopoverkhovoho budivnytstva. O.O. Posternak, A.I. Kostiuk. *Visnyk ODABA*. 2016. Vyp. 61. S. 353–357.
7. Posternak O.O. Pinobetonni stinovi elementy dlia malopoverkhovoho budivnytstva. O.O. Posternak, A.I. Kostiuk, S.A. Kravchenko. *Zbirnyk tez dopovidei 78-yi naukovo-tikhnichnoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu akademii*. Odesa. ODABA. 2022. S. 75.

WORKING OF STRUCTURAL AND HEAT-INSULATING NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE WALL ELEMENTS UNDER CONDITIONS OF NONCENTRIC COMPRESSION

Abstract. *A significant rise in cost of energy carrier has led to a decline in construction volumes. One of the way of solving this problem is development and implement of new efficient, energy-saving technologies for building materials, products and structures. In the work, a research of wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete under conditions of noncentric compression was performed. The nature of the cracks formation and development and the destruction of single-layer wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete is determined. The impact of reinforcement on the bearing capacity of such elements was done. During the experiment, the development of cracks on models of wall elements was observed and fixed in order to study the nature of the destruction of wall elements made of structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete. The models of wall elements were destroyed as follows: on the lateral surface of the more loaded face, the appearance and development of vertical cracks was observed in the middle and supporting sections of the sample, which later became main ones. Cracks developed less intensively on the end faces. Vertical cracks developed mainly in the supporting areas closer to the more loaded face of the sample. There were practically no cracks on the less loaded side. To study the influence of reinforcement, the values of the relative errors of the load-bearing capacity of the wall elements models and the coefficient* α *which used in the calculations of foam concrete wall elements on the action of compressive longitudinal force were analyzed.*
Key words: cellular concrete, structural and heat-insulating non-autoclaved foam concrete, wall elements, cracks, destruction.

Posternak O.O.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa

Kravchenko S.A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa

Urazmanova N.F.
Assistant at the Department of Architectural Constructions,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa

Ahaieva O.A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Facilities,
Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa

Stolevich I.A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odesa

УДК 621.878
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.4

Чебанов Т.Л.
к.т.н., доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID ID: 0000-0002-8814-971X

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА БУДІВЕЛЬНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ МАШИН

Анотація. *Сучасний стан розвитку будівельного виробництва, його ефективність, визначається рівнем механізації будівельних процесів, використанням раціональних машин та механізмів.*
Традиційний парк машин для будівництва характеризується спеціалізованими машинами. Це, як правило, потужні машини з високими параметрами та конструктивними і технологічними можливостями. І використовуються як ведучі машини комплексно-механізованих процесів. Їх область використання є невеликою,обмеженою декількома процесами та операціями. При цьому, є достатньою і відзначається високою ефективністю.
Наприклад, машини для монтажних і бетонних робіт, виконання опорядження тощо.
Для виконання земляних робіт, влаштування елементів «нульового циклу», а також в дорожньому будівництві, привиконаннні елементів благоустрою, виконанню робіт по ліквідації аварій та стихійного лиха широко використовуються спеціалізовані машини. Разом з тим, для таких робіт є можливість розширення їх технологічних можливостей шляхом доопрацювання їх конструкції, створення додаткових робочих органів і систем.
Ця тема є також актуальною в теперішній час, при підготовці до виконання робіт по відновленню постраждалих під час війни об'єктів промисловості та житлового сектору
Науково- дослідні, конструкторські роботи по розробці та вдосконаленню будівельних та дорожних машин в Україні виконані в ДП НДІБВ, на відповідних учбових кафедрах університетів та академій в Києві, Харкові, Дніпрі, Полтаві, Рівному тощо. Досліджувались процеси взаємодії робочих органів з масивом грунту, енергетичні та технологічні особливості роботи різних землерийних та землерийно- транспортних машин. Розроблено велику кількість конструкцій змінних робочих органів, захищенних авторськими свідоцтвами та патентами
Ключові слова: будівельні машини; спеціаліховані машини; універсальні машини; базові машини; змінні робочі органи.

Вступ. Прогрес будь-якої технології, в тому числі будівельної, безпосередньо забезпечується вдосконаленням її технічної складової – машин, обладнання, інструменту тощо.

Цей прогрес обмежується потенціалом базових для даної технології технічних засобів, часто вузько-спеціалізованих. Дослідженнями та розробкою будівельних та дорожних машин займались багатьох вчених, конструкторів, практиків. В першу чергу спеціалізованих машин, здатних ефективно виконувати декілька робочих процесів та операцій. При значному дефіциті засобів механізації (базовими для багатьох будівельних машин тривалий час були сільськогосподарські трактори), високому рівні ручної праці створення таких машин та впровадження їх в будівельне виробництво було ваговим результатом.

В такій ситуації розробка та вдосконалення універсальних машин з комплектом змінних робочих органів потребувала створення нових об єктивних соціальних та виробничих реалій, розвитку відповідних потужностей.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз виконаних досліджень в данному напрямі будівельної науки і практики розглядається в основній частині роботи.

Постановка завдання, основна частина. Перші відомі обґрунтовані пропозиції щодо розробки універсальних машин і змінних робочих органів в будівництві наведено в роботах професора М. Г. Домбровського стосовно екскаваторів [1].

Екскаватори будівельного типу можуть бути забезпечені різним робочим обладнанням: прямою і зворотною лопатами, грейфером, краном, стругом, засипачем, драглайном,

скребком, корчувачем, копром тошо. Область застосування універсальних екскаваторів виходить далеко за межі земляних робіт і перетворює їх на машини.

Обладнання пряма та зворотна лопати, драглайн і кран вважається основним.Екскаватори, що випускаються з основними видами обладнання, може працювати і з іншим обладнанням (універсальні екскаватори), екскаватори з обладнанням лопати і драглайна можуть працювати з обладнанням грейфера і крана (напівніверсальні екскаватори).

"На підставі проведених конструктивних розрахунків було запропоновано залежно від властивостей (категорії) ґрунту застосовувати змінні ковші різної місткості, що знайшло широке використання на екскаваторах будівельного та кар'єрного типів заводського виготовлення, наприклад Новокраматорський завод.

Однією з перших робіт, присвячених дослідженню універсальних машин, є виконанав в Харкові робота В. Н. Стогова [2], в якій були досліджені процеси механізованого навантаження масових насипних вантажів одноковшовими напірними навантажувачами. Через значні переваги цих машин перед іншими навантажувачами рекомендується їх широке використання в народному господарстві, і в тому числі на транспорті.Досліджено процес зачерпування сипучого вантажу ковшем напірного навантажувача з визначенням відповідних залежностей.

У роботі наводиться метод техніко-економічного порівняння різних способів навантаження вантажів на транспортні засоби, а також рекомендуються універсальні одноковшові напірні навантажувачі для різних вантажів. При заміні ковша вилковим підхватом вони можуть працювати з штучними вантажами різноманітної форми (ящики, колоди тощо) не тільки при їх перевезенні та навантаженні, але і при укладанні у високі штабелі.

У роботі В.І. Аляб'єва [3], присвяченій основам теорії оптимізації параметрів лісових вантажно-розвантажувальних машин, досліджено закономірності розподілу навантаження щелепних навантажувачів при навантаженні на лісовозний транспорт, досліджено залежності тривалістю циклу навантаженням від різних чинників. В ра нагрудні аналітичні вирази зон дії фронтальних, перекидних та поворотних навантажувачів через розмірно-кінемати. ні параметри виконавчих органів цих машин. Складено математичні моделі оптимізації розмірно-кінематичних параметрів поворотних навантажувачів методом статистичних випробувань.

Професор В. І. Баловнєв в бувшому МАДІ створив наукову школу про будівельні та дорожні машини на базі концепції фізичного моделювання робочих процесів виконання земляних робіт [4]. У їх роботах підкреслюється, що облік умов експлуатації щодо основних параметрів і режимів роботи будівельних і дорожніх машин на етапі проектування є важливим фактором підвищення якості машин і ефективності їх застосування. Для землерийно-транспортних машин умови експлуатації характеризуються в основному групою (категорією) та станом ґрунту, видами та обсягами робіт, дальністю переміщення ґрунту, рельєфом місцевості та іншими факторами, які значною мірою визначають параметри машин.

Грунтуючись на такому підході, для бульдозерів і одноковшових навантажувачів розробили моделюючі алгоритми визначення основних параметрів машин з урахуванням умов експлуатації.

Представниками цієї наукової школи також виконані значні роботи з оцінки ефективності та визначення параметрів багатоцільових машин для земляних робіт. На підставі аналізу НДР, ДКР та досвіду експлуатації запропоновано варіанти базових багатоцільових машин для земляних робіт малих об'ємів та в обмежених умовах [5].

Відзначається, що для визначення параметрів базових машин з обладнанням для виконання земляних робіт оптимізацію проводять на різних стадіях підготовки, матеріально-технічного забезпечення та виконання будівельних робіт.При цьому рекомендується розглядати, з одного боку, завдання аналізу, тобто оцінку існуючих машин і, з іншого боку, задачу синтезу, тобто визначення оптимальної конструкції та оптимальних параметрів окремої машини за яким-небудь критерієм з урахуванням накладених обмежень, наприклад, умов експлуатації.

Аналізом існуючих технологій виконання будівельних робіт малих об'єктів і в обмежених умовах також виявлено, що, насамперед, потрібно підвищити рівень механізації таких робіт, як підчистка, планування дна траншей, розподіл і планування мас зворотних засипок, відкопування наявних споруд, що вико-

нуються вручну і частково механізованих, як злам старих споруд, розчищення території будівництва,влаштування виїмок, рекультивація землі.

ЦНДІОМТП здійснювало загальну координацію розвитку механізації будівництва. Було здійснено, зокрема, науково-технічне обґрунтування необхідності створення універсальних будівельних машин для механізації малооб'ємних розосереджених робіт, з узагальнення досвіду їх конструювання, застосування та пропаганди цього важливого напряму в розвитку будівництва [6]. Зокрема, за характером конструктивного зв'язку знімного робочого обладнання з базовою машиною рекомендовано розрізняти такі класи робочого обладнання:знімне навісне, що встановлюється тим чи іншим способом безпосередньо на рамі базової машини та вимагає іноді деякого дообладнання її рами; напівнавісне, яке зазвичай пов'язане з базовою машиною за допомогою сідельного пристрою та спирається на останнє; причіпне, що з'єднується з базовим звичайним гаковим пристроєм. При цьому навісне обладнання, що знімається, може бути багато- і одноопераційним.

Традиційними видами напівнавісного та причіпного обладнання є скрепери, грейдери, грейдери-елеватори, грунто-ущільнюючі пристрої, розпушувачі тощо.

До багатоопераційного знімного навісного обладнання відноситься, в основному, вантажне та екскаваційне. При цьому виявлено, що основними напрямками універсалізації машин в залежності від прийнятих баз є: використання спеціалізованих машин шляхом створення для них додаткових видів знімного навісного обладнання; розробка різних видів навісного обладнання для колісних та гусеничних тракторів загального сільськогосподарського та промислового призначення; створення різних видів навісного, напівнавісного та причіпного обладнання для шасі та тягачів спеціального призначення. При цьому найбільший інтерес представляють гідравлічні: неповноповоротні екскаватори-бульдозери та екскаватори-навантажувачі на базі колісних та гусеничних тракторів.

Науково- дослідний інститут будівельних та дорожних машин (ВНДІбуддормаш), як головний інститут відповідного міністерства створив значну кількість дослідних зразків універсальних машин, в тому числі і універсальних [6].

Найбільш поширеними типами універсальних будівельних машин на базі тракторів є екскаватори-навантажувачі та, дещо меншою мірою, екскаватори-бульдозери, номенклатура змінних робочих органів у яких значно менше, ніж у екскаваторів-навантажувачів.

Встановлено, що екскаватори-навантажувачі за допомогою навантажувального обладнання можуть виконувати не тільки вантажно-розвантажувальні, а й транспортні операції в межах будівельного майданчика, зберігаючи при цьому можливість виконання планувальних робіт за допомогою ковша або оульдозерного відвалу, що встановлюється на стрілу навантажувач замість ковша.

НДІБВ проведена робота з узагальнення досвіду створення та сфери застосування знімного навісного обладнання та змінних робочих органів на пневмоколісних та гусеничних тракторах загального, сільськогосподарського та промислового призначення для механізації розосереджених малооб'ємних робіт. Розроблено методику вибору області ефективного застосування змінних робочих органів універсальних будівельних машин і надано конкретні рекомендації щодо раціонального використання.

В роботі [7] розглянуті питання прогнозування потреби у змінному устаткуванні для багатофункціональних будівельних зашин. Після огляду приведена методика визначення області застосування змінного робочого обладнання багатофункціональної будівельної машини, що базується на розрахунку приведених витрат, балансової вартості машини та вартості її перебазування. Потім, на підставі експертної оцінки провідних фахівців ряду інститутів і будівельних організацій, було складено прогноз потреби в змінних видах робочого обладнання та робочих органів до гідравлічних одноківшевих екскаваторів і фронтальних пневмоколісних і гусеничних навантажувачів, а також для бульдозерів.

У висновках огляду йдеться про те, що у світовій практиці тривалий час простежується тенденція розширення номенклатури та обсягів випуску змінного робочого обладнання та робочих органів до багатофункціональних будівельних машин, що дозволить підвищити продуктивність машин, рівень механізації робіт, знижує їх вартість і скорочує терміни виконання робіт у будівництві.

Зокрема, зазначається, що для підвищення ефективності використання змінного робочого обладнання доцільно створювати спеціалізовані ділянки, які б виконували роботи, пов'язані з орендою, експлуатацією та ремонтом цього обладнання.

В Україні роботи по дослідженню будівельних мащин та механізмів та їх робочих органів тривалий час виконуються на відповідних кафедрах будівельних університетів та академій.

Розробці робочих органів землерийних машин присвячені численні праці професора Л. А. Хмари та учнів його наукової школи з ПДАБА. У роботі [9] запропоновано метод формування конструктивних і технічних рішень на етапі пошуку та проектування нових робочих органів інтенсифікуючої дії. Реалізація розробленого методу дозволила встановити основні напрями розвитку вдосконалення конструкцій традиційного принципу дії з метою одержання економії енергетичних, матеріальних та трудових ресурсів. Зокрема, методами фізичного та комбінованого моделювання та на підставі виробничого експерименту встановлено механізм протікання процесу, що забезпечує зниження силових та енергетичних витрат при розробці ґрунтів двоножовим робочим обладнанням з траєкторно-послідовним розміщенням ріжучих елементів та оснащеними інтенсифікаторами комбінованого типу. Розроблені автором рішення по інтенсифікації роботи машин для земляних робіт різного типу (скреперів, бульдозерів, екскаваторів) дозволили зменшити матеріаломісткість машин та енергоємність виконання робіт на відповідно 12,7% та 21 %.

Значні розробки здійснено по модернізації будівельних і дорожних машин [11], а також створенню робочих органів будівельних машин в вигляді автоматичних та напів- автоматичних маніпуляторів [12].

На першому етаті створення нових машин та їх робочих органів об'єкт досліджень поділяється на ряд елементів. При цьому конструктор користується набором традиційних елементів. Нові рішення формуються у два етапи. У першому випадку нова структура формується із традиційних елементів без їх зміни. Скажімо, розглядається вдосконалення та модифікація кожного елемента за деякої їх сукупності і тільки потім формування їх у вигляді колишньої традиційної структури. Вищий рівень отримання нового рішення передбачає формування нової структури об'єкта з нових модифікованих елементів.

При розгляді за даною методикою робочого процесу технології земляних робіт, як системного об'єкту, а робочого обладнання, як підсистеми робочого процесу землерийної машини, було отримано ряд важливих наукових і практичних результатів, у тому числі велику кількість оригінальних конструктивно-технологічних рішень.

Досягненню такого результату сприяло використання потужного математичного апарату опису цільової функції робочого процесу виконавчого органу землерийної машини, що включає частини ніж- відвал та ковш. При цьому, зроблено висновок про те, що робочий орган, призначений для виконання тільки однієї функції, для підвищення ефективності взаємодії з середовищем може складатися з набору елементів різних розмірів, форми та призначення.

Так, робочий орган ковшового типу, відповідно до структури математичної моделі, розчленовується на основні елементи: лобова поверхня ріжучого та розпушувального елемента; лезо з затупленням; бічні грані ріжучого елемента; днище; задня стінка (відвал); бічні стінки ковша (відкривки відвалу) та заслінка.

В подальших роботах, виконаних під керівництвом проф. Л. А. Хмари, були розглянуті основні шляхи підвищення продуктивності та ефективності розробки ґрунтів, представлений передовий досвід експлуатації землерийних машин у будівництві. Зокрема, розглянуто питання застосування робочого обладнання багатоцільового призначення маніпуляторного типу, виконаного на базі одноковшових гідравлічних екскаваторів, бульдозерів, розпушувачів [13].

Результатом співпраці ПДАБА та КНУБА стало розробки по модернізації будівельних мащин [10] з метою підвищення їх продуктивності та покращення техніко-економічних показників у ринкових умовах. Розглянуто причини мотивації модернізації будівельних машин при надмірності та недостатності основної функції. Наведено методологію оцінки ефективності капіталовкладень на базі функціонально-вартісного аналізу.

Запропоноване багатоцільове маніпуляторне обладнання у вигляді двопальцевого захвату з комплектом швидкозмінних робочих

органів, які можуть застосовуватися у поєднанні з гідравлічним екскаватором та трактором [11]. Будівельні маніпулятори являють собою важільні системи, що складаються зі стріли, рукояті і гідроциліндрів управління, а на кінці змонтований двопальцевий важільний завat, до якого кріпляться робочі органи різного призначення. При цьому є широка можливість маніпулювання робочим органом у вертикальній та горизонтальній площинах з однієї стоянки базової машини.

Кожен виконавчий робочий орган має універсальний приєднувальний оголовок, виконаний таким чином, що двопальцевим захватом можна швидко взяти черговий робочий орган із комплекту (тривалість заміни робочих органів складає 40...50 с).

Ефективність робочого обладнання багатоцільового призначення маніпуляторного типу з двопальцевим захватом особливо зростає при виконанні малих розосереджених обсягів робіт та наявності на борту базової машини комплекту швидкозмінних робочих органів.

Істотною особливістю будівельних маніпуляторів є те, що вони можуть бути використані на базі малогабаритних землерийно-транспортних машин. При цьому найчастіше застосовуються такі робочі органи: екскаваційне обладнання, вантажний ківш, ківш з гідрокерованою щелепою, гідромолот, бурове обладнання тощо.

В роботі [14] розглядаються найбільш поширені типи машин для земляних робіт. Зроблено висновок, що одним із напрямків підвищення їх конкурентної здатності є використання додаткових робочих органів, зокрема начіпне устаткування скрепера. Розроблено наукові основі створення технологічних машин.

В місті Харкові, свого часу, було створено оригінальне обладнання, – один із перших в світі дослідницький канал для вивчення взаємодії робочого органу машини з грунтом. В роботі [15] відзначається, що випуск сучасних конкурентно-спроможних землерийно-транспортних машин передбачає їх здатність до використання різного робочого обладнання. Розроблено математичний апарат моделювання шарнірно-зєднаних пневмоколісних машин та виконано аналітичні дослідження на базі їх узагальненої математичної моделі.

В КНУБА тривалий час виконуються роботи по аналогічним напрямкам. В роботі [16], присвяченій 60-річчю кафедри будівельних машин ім. Ю.О. Вєтрова КНУБА універсальні можливості машин та обладнання розглядаються на прикладі механізованого інструменту – ручних машин. Розроблено класифікацію та цифрову індексацію ручних машин. Одним із напрямів розвитку будівельної техніки також названо універсальні машини та механізми.

Оригінальні будівельні машини розглянуто в роботі [17], – техніка для аварійно-рятувальних робіт. На базі класифікації завалів розглядаються екскаватори з різним традиційним навісним обладнанням, а також з спеціальним обладнанням для таких умов, – оригінальний поворотний бур, боковий відвал тощо. Для локалізації осередків пожеж та аварій розроблено навісне додаткове обладнання для тракторів та екскаваторів.

В. С. Бочаров досліджував проблему створення основ теорії робочих процесів будівельно-дорожніх машин та їх взаємодії з різними породами, в т.ч. бітумними породами, а також створення машин, механізмів та обладнання для розробки та трнспортування зазначених порід [18]. Останні, як правило, розробляються неспеціалізованими машинами, що призводить до значних витрат трудових та енергетичних ресурсів, оскільки при температурі понад +5°. 10 ° С роботи виконуються на малих швидкостях за високого ступеня перевантаження силового агрегату. При цьому порода налипає на робочі органи, продуктивність знижується в 1,5...2 рази.

Встановивши закономірності процесу деформації робочими органами гетерогенних середовищ з твердою фазою при їх розробці, запропоновано засоби механізації удосконалювати шляхом зниженням частки енергоємних взаємодій.

В роботі [19] при розгляді методології створення будівельних та дорожних машин також є місце для універсальних машин.

Найбільшого розвитку універсальні машини отримали за кордоном. Фірми Caterpillar (США), Komatsu (Японія) та інші пропонують у складі поставки машин для земляних робіт різне додаткове робоче обладнання. Для землерийно-транспортних машин (скрепери, бульдозери, навантажувачі) це пасивні робочі органи, – в основному, модифікації ковшів та відвалів. А для одноківшевих екскаваторів також активні робочі органи, –

наприклад гідравлічні молоти, двощелепний ковш, ямобур, тощо [20].

Найбільш широку пропозицію по змінним робочим органам надала компанія Volvo (Фінляндія). Зокрема, для параметричного ряду одноківшевих фронтальних навантажувачів пропонується до 80 (вісімдесят) різновидів змінного обладнання [21].

Успішне впровадження на будівельний ринок малогабаритних навантажувачів з бортовим поворотом типу Bobcat стало можливим завдяки наявності в комплекті поставки різних робочих органів [22]. По номенклатурі та призначенню вони практично відповідають традиційним будівельним машинам та робочим органам. Різниця в розмірах.

Крім розвитку та вдосконалення конструкцій та параметрів змінних робочих органів, за кордоном відбувається впровадження оригінальних рішень по базовим машинам та механізмам. Компанія Маніту випускає одноківшевий навантажувач з фронтальною телескопичною стрілою, що здатне обертатись на 360 градусів. При цьому, поворотна платформа машини також здатна обертатись та 360 градусів. Набор змінного обладнання є традиційним [23].

Висновки 1. Розробка та впровадження універсальних машин найбільш розвинуто в країнах Заходу та в США. Фірми-виготовлювачі пропонують різноманітне робоче обладнання та змінні робочі органи практично для виконання всіх робіт. Значне місце займають сучасні малогабаритні машини иа механізми із змінними робочими органами. Останні розробки стосуються вдосконаленню базових машин в частині їх основного обладнання.

2. Науковцями ряду підприємств та вузів України розглянуто особливості експлуатації універсальних машин, створено значна кількість робочих органів для механізації будівництва.

Література

1. Домбровский Н. Г. Экскаваторы (общие вопросы конструкции, проектирования и расчета). – М. : Машиностроение, 1969. – 326 с.
2. Стогов В. Н. Исследование процессов механизированной погрузки массовых насыпных грузов передвижными погрузчиками: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук по спец. 05.05.04 Строительные и дорожные машины. – Харьков,ХИСИ, 1947. – 45 с.
3. Алябьев В. И. Основы теории оптимизации параметров лесных погрузочно-разгрузочных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук по спец.03.04.04 Машины для лесопереработки – М.,МИЛС, 1973. – 46с.
4. Баловнев В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. – М. : Машиностроение, 1974. – 232 с.
5. Штейметцгер Р. Анализ, оценка эффективности и определение параметров многоцелевых машин для земляных работ малых объемов в заданных условиях эксплуатации: Автореф. дис.... канд. техн. наук по спец. 05.05.04 Строительные и дорожные машины – М.,МАДИ, 1981. – 18с.
6. Фохт Л. Г. Машины и оборудование для погрузочно-разгрузочных работ. – М.:Стройиздат, 1982. -- 240 с.
7. Недорезов И. А. Перспективы развития рабочих органов землеройных машин /Транспортное строительство. – 1990, № 8. С. 39-41.
8. Родионов Г. В., Резуник А. В., Чернов Ю. М. Механизация рассредоточенных работ в строительстве. -К. : Будівельник, 1976. –184 с.
9. Хмара Л. А. Научные основы формирования многокомпонентных рабочих органов землеройных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук, по спец. 05.05.04- Строительные и дорожные машины. – Днепропетровск,1983. – 49 с.
10. Хмара Л. А., Колесник Н. П.,, Станевский В. П. Модернизация и повышение производительности строительных машин. – К. : Будівельник, 1992. – 152 с.
11.Основи модернізації будівельних машин / І. І. Назаренко, Л.А. Хмара [і ін.]. К.: Леся, 2003. 164 с.
12.Хмара Л. А. Роботизація будівельних процесів / Л. А. Хмара, І. А. Соколов, Є. П. Уваров. Луганськ: Глобус, 2002. 408 с.
13.Хмара, Л. А. Будівельні маніпулятори та роботи: методичні вказівки / Л. А. Хмара. Дніпропетровськ: ДІБІ, 1993. 385 с.
14.Блохін В. С., Маліч М. Г. Основні параметри технологічних машин. Машини для земляних робіт. К.: Вища школа, 2006. 407 с.
15.Кириченко Л.Г., Назаров Л.В., Нічке В.В. Наукові основи створення високоефективних землерийно-транспортних машин/ – Харків: ХНАДУ, 2003. – 588 с.
16.Лівінський О.М., Курок О.І, Єсипенко А.Д. Пелевін Л.Є., Смірнов В.М.,Волянюк В.О. Будівельна техніка. – К.: МПІ Леся, 2013. 614 с.
17.Баладінський В.Л.,Назаренко І.І.,Онищенко О.Г. Будівельна техніка: Київ- Полтава : КНУБА – ПНТУ,2002. -463с.
18. Бочаров Б. С. Основы теории рабочих процессов и создание машин и оборудования для разработки и использования битумосодержащих пород в строительстве:Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – К. : КИСИ, 1988. – 45 с.
19.Гарнець В. М., Безух А. В. Методологія створення машин: Навчальний посібник.К.: «Хай-Тек Прес», 2010. – 376 с
20.Каталог техніки CAT. URL: https://zeppelin.ua/products/
22.Будівельні машини VOLVO. URL: https://voltech.com.ua/ru/product-category/catalog/volvo-narabotka/
21.Техніка Bobcat. URL: https://www.bobcat.com/cis/ru/equipment
23.Універсальні машини Manitou. URL: https://voltech.com.ua/product-category/katalog/manitou-uk/

References

1.Dombrovskij N. G. Ekskavatory (obshie voprosy konstrukcii, proektirovaniya i rascheta). – M. : Mashinostroenie, 1969. – 326 s.
2. Stogov V. N. Issledovanie processov mehanizirovannoj pogruzki massovyh nasypnyh gruzov peredvizhnymi pogruzchikami: Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk po spec. 05.05.04 Stroitelnye i dorozhnye mashiny. – Harkov,HISI, 1947. – 45 s.
3. Alyabev V. I. Osnovy teorii optimizacii parametrov lesnyh pogruzochno-razgruzochnyh mashin: Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk po spec.03.04.04 Mashiny dlya lesopererabotki – M., MILS, 1973. – 46 s.
4. Balovnev V. I. Metody fizicheskogo modelirovaniya rabochih processov dorozhno-stroitelnyh mashin. – M. : Mashinostroenie, 1974. – 232 s.
5. Shtejmetcger R. Analiz, ocenka effektivnosti i opredelenie parametrov mnogocelevyh mashin dlya zemlyanyh rabot malyh obemov v zadannyh usloviyah ekspluatacii: Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk po spec.05.05.04 Stroitelnye i dorozhnye mashiny – M.,MADI, 1981. -18 s.
6. Foht L. G. Mashiny i oborudovanie dlya pogruzochno-razgruzochnyh rabot. – M.:Strojizdat, 1982. -- 240 s.
7. Rodionov G. V., Rezunik A. B., Chernov Yu. M. Mehanizaciya rassredotochennyh rabot v stroitelstve. -K. : Budivelnik, 1976. – 184 s.
8. Nedorezov I. A. Perspektivy razvitiya rabochih organov zemlerojnyh mashin /Transp. str-vo. – 1990. – № 8. – C. 39- 41.
9.Hmara L. A. Nauchnye osnovy formirovaniya mnogokomponentnyh rabochih organov zemlerojnyh mashin: Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk, spec. 05.05.04- Stroitelnye i dorozhnye mashiny. – Dnepropetrovsk,1983. – 49 s.
10. Hmara L. A., Kolesnik N. P.,, Stanevskij V. P. Modernizaciya i povyshenie proizvoditelnosti stroitelnyh mashin. – K. : Budivelnik, 1992. – 152 s.
11.Osnovi modernizaciyi budivelnih mashin / I. I. Nazarenko, L.A. Hmara [i in.]. – K.: Lesya, 2003. – 164 s.
12.Hmara L. A. Robotizaciya budivelnih procesiv / L. A. Hmara, I. A. Sokolov, Ye. P. Uvarov. – Lugansk: Globus, 2002. – 408 c.
13.Hmara, L. A. Budivelni manipulyatori ta roboti: metod. vkazivki / L. A. Hmara. – Dnipropetrovsk: DIBI, 1993. – 385 s
14.Blohin V. S., Malich M. G. Osnovni parametri tehnologichnih mashin. Mashini dlya zemlyanih robit : Navch. posib. – K.: Visha shk., 2006. -407 s.: il.
15.Kirichenko L.G., Nazarov L.V., Nichke V.V. Naukovi osnovi stvorennya visokoefektivnih zemlerijno-transportnih mashin/ – Harkiv: HNADU, 2003. – 588 s.
16.Livinskij O.M., Kurok O.I, Yesipenko A.D. Pelevin L.Ye., Smirnov V.M.,Volyanyuk B.O. Budivelna tehnika. Pidruchnik. – K.: MPI Lesya, 2013. – 614 s.
17.Baladinskij V.L.,Nazarenko I.I.,Onishenko O.G. Budivelna tehnika: Pidruchnik. – Kiyiv- Poltava : KNUBA – PNTU,2002. – 463 s.
18. Bocharov B. S. Osnovy teorii rabochih processov i sozdanie mashin i oborudovaniya dlya razrabotki i ispolzovaniya bitumosoderzhashih porod v stroitelstve:Avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. – K. : KISI, 1988. – 45 s.
19.Garnec V. M., Bezuh A. V. Metodologiya stvorennya mashin: Navchalnij posibnik.K.: «Haj-Tek Pres», 2010. – 376 s
20.Katalog tehniki CAT. URL: https://zeppelin.ua/products/
21.Budivelni mashini VOLVO. URL: https://voltech.com.ua/ru/product-category/catalog/volvo-narabotka/
22.Tehnika Bobcat. URL: https://www.bobcat.com/cis/ru/equipment
23.Universalni mashini Manitou. URL: https://voltech.com.ua/product-category/katalog/manitou-uk

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION UNIVERSAL MACHINES

Abstract. *The current state of development of construction production, its efficiency, is determined by the level of mechanization of construction processes, the use of rational machines and mechanisms. The traditional fleet of machines for construction is characterized by specialized machines. These are, as a rule, powerful machines with high parameters and constructive and technological capabilities. And they are used as leading machines of complex mechanized processes. Their field of use is small, limited to several processes and operations. At the same time, is sufficient and is characterized by high efficiency.*

For example, machines for assembly and concrete works, equipment execution, etc.

Specialized machines are widely used for earthworks, installation of elements of the "zero cycle", as well as in road construction, implementation of improvement elements, and works to eliminate accidents and natural disasters. At the same time, for such works, there is an opportunity to expand their technological capabilities by refining their design, creating additional working bodies and systems.

This topic is also relevant at the present time, when preparing for the implementation of works on the restoration of industrial and residential facilities damaged during the war

Scientific research and design works on the development and improvement of construction and road machines in Ukraine were carried out at the SE NDIBV, at the relevant educational departments of universities and academies in Kyiv, Kharkiv, Dnipro, Poltava, Rivne, etc. The processes of interaction of working bodies with the mass of soil, energy and technological features of the work of various

earthmoving and earthmoving and transport machines were studied. A large number of designs of variable working bodies, protected by copyrights and patents, have been developed
Key words: construction machines; specialized machines; universal machines; basic machines; variable working bodies.

Chebanov T.L.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

УДК 624.05:69
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.5

Чебанов Т.Л.
к.т.н., доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
ORCID ID: 0000-0002-8814-971X

ДИНАМІКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Анотація. *Технологія будівельного виробництва розглядає процеси перетворення предметів праці в продукти праці шляхом різних динамічних перетворень (впливів) з використанням знарядь праці, – машин і механізмів. Зміст перетворень, його структура описується відповідними технологічними системами. Процес перетворення, що моделюється як такі системи, описується моделями структури системи перетворення. Тим самим, завдяки впливу різних виконавців на зміну властивостей об єкта і відбуваються перетворення.*

Система у вигляді будівельного процесу має свою структуру з відповідною ієрархією, – підпорядкованістю її елементів з багаторівневою структурою. Складні системи розподіляють підсистеми з метою оптимізації їх елементів шляхом формалізації процедур проектування та створює метод проектування багатофункціональних систем.

Технологічна система містить узгоджені сукупності параметрів, показників і характеристик складових, що виражають технологічні потреби робочої операції. Це означає, що предметне забезпечення виконавцями, машинами, інструментами, матеріалами, параметри, показники та характеристики яких перебувають у повній відповідності з цими потребами, забезпечує нормальний початок реалізації впливу.Саме за цієї умови складові робочої операції починають взаємодіяти так, як це передбачено в моделі.

Відкриті системи з елементами – модулями та адаптивними стійкими взаємозв язками, що забезпечують їх оперативне перетворення під впливом змін умов виконання робіт чи параметрів технології складають суть їх динамічного розвитку

Одним із ефективних способів реалізації таких багатофункціональних динамічних технологічних систем є використанні універсальних будівельних та дорожних машин та механізмів, а також ручного інструменту.

Ключові слова: динаміка будівельного процесу; багатофункціональні технологічні системи; будівельні технології ; будівельні машини; змінні робочі органи.

Вступ. Технологія будівельного виробництва – це комплексна наука, завдання якої полягає в тому, щоб обґрунтувати структуру процесу виконання різних процесів, створювати основи економічно раціональних комбінацій використання робочої сили та засобів виробництва що забезпечать ефективніше використання наявних ресурсів, збільшення обсягу вироблюваної продукції з можливо меншими витратами. Технологічна та економічна ефективність залежить від того, наскільки в процесі проектування багатофункціональних будівельних систем забезпечуються зв'язки і взаємодії між її елементами, управління ними в такій мірі, якої вимагають умови та методи промислового виробництва. Будівельне виробництво функціонує за законами багатьох наук. Для досягнення поставленої мети в будівництві людина діє на об'єкти праці (сировина, матеріал, продукція) через відповідні засоби праці (техніка різного виконання).

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження динамічних перетворень в процесі реалізаціїї технології будівництва при зведення будівель та споруд розглядали багато вчених в Україні. Черненко В. К. розробив класифікацію методів монтажу будівельних конструкцій [1]. Створено відповідну класифікацію. Два принципових методи піднімання (переміщення) будівельних конструкцій в подальшому розподілено по напрямкам переміщення (горизонтальний, вертикальний та радіальний), групам методів монтажу (наро-

щування, підрощування,приєднання, переміщення, поворот) та різні прийоми виконання піднімання Результати виконаних досліджень були використані в практичних матеріалах, зокрема довідниках[2] по монтажу будівель та споруд, що витримали декілька перевидань.

Тонкачеєв Г. М. створив оригінальну систему формування комплектів будівельної оснастки [3] Її основою є функціонально-модульний підхід. У Підтверджено гіпотезу про те, що структура комплектів оснастки може бути обмеженою безліччю функціональних модулів і відносин між ними. Для виконання функцій процесу зведення збірно-монолітних будівель і споруд та реалізації кожної окремої функції існує окреме пристосування або його складова частина, які, можуть виготовлятися і експлуатуватися відокремлено або об'єднуватися в компоновки функціональних модулів [4].

Системи пристроїв для монтажу легких металевих конструкцій вивчав Федоренко П. П. [5]. Обґрунтовано і розроблено основи технології зведення спеціальних одноповерхових промислових будівель з використанням різних пристроїв, в т.ч. автоматичних та навпівавтоматичних.

Шпакова Г.В. розробила засади розвитку біосферного будівництва з позицій будівельних технологій, захисту екології та економічної доцільності їх формування [6] Запроваджені в роботі інновації дозволяють на рівні адміністрування еко-соціоспрямованими будівельними проєктами та цільовими інвестиційними програмами (локальними, груповими, глобальними) забезпечити зниження антропогенного впливу процесів будівництва на довкілля впродовж всіх етапів/стадій життєвого циклу бізнес-екосистеми. В авторському тлумаченні біосферосумісність обґрунтовано як «особливий тип комплексної соціоеколого-економічної (складної та відкритої) системи, що централізовано підпорядковується нормативно-дозвільній базі актів у проєктуванні, будівництві та експлуатації. Обґрунтовано, що біосферосумісність формується як обов'язкова компонента концепту сталого розвитку будівництва в сукупності з іншими стратагемами.І неє самостійною відособленою економічною категорією.

Осіпов О.Ф. [7] розглянув адаптивні динамічні трансформуємі технологічні системи. Задачі забезпечення адаптивності технологічних схем зводяться обґрунтування та вибору методів та засобів, що забезпечують зменшення функціонального зв'язку між головним параметром технологічних систем та умовами їх функціонування.

При цьому до основних методів та засобів адаптації віднесено:збільшення функціональної інертності системи (резервування продуктивності та (або) оперативного часу); функціональне резервування цільової функції; структурне резервування елементів та взаємозв'язків.

Адаптивні динамічно трансформуємі технологічних систем розглянуто на в умовах реконструкції будівель та споруд. Визначальним при обґрунтуванні та виборі функціональних та обґрунтованих параметрів використання раціональних технологій, в залежності від мети та задач реконструкції, особливостей фронту робіт, є ступінь різновидності та змінності параметрів та її характеристик, а також рівня просторово-часової дискретності фронту робіт. При цьому, зроблено наступні визначення: адапта-ція технологічних систем є керуємі дискретні процеси пристосування системи до параметрів зовнішнього середовища; адаптивна динамічна трансформуюча технологічна система є функціональна динамічна система, яка володіє динамічною змінністю власної морфології та інтегральної функції, здатна визначити цілеспрямовану пристосувальну поведінку в складних умовах; керовані динамічні трансформації функціонально-морфологічних складових будівельного процесу є сукупність цілеспрямованих керуємих оперативних перетворень морфології та цільової функції технологічної системи, які розглядаються як концептуально-методологічні механізми їх адаптації.

Розглянуто та названо умови ефективного використання адаптивних динамічних трансформующихся технологічних систем:динамічний та дуже динамічний фронт робіт; безперервний та дискретний фронт робіт.

Коефіцієнт неоднорідності характеризує різні будівельно-технологічні характеристики об'єкту та фронту робіт за їх структурною величиною.

Розосередженість розглядається як рівень непродуктивних витрат часу на перебазування технологічної системи елементу на елемент фронту робіт.

Названі умови ефективного використання технологічних систем встановлено виходячи із наявних засобів адаптації таких техноло-

гічних систем: високопродуктивні спеціалізовані технологічні системи, адаптація яких відбувається за рахунок резервування продуктивності та (або) часу; багатофункціональні технологічні системи, адаптація яких відбувається за рахунок функціонального резервування – введення корисних технологічних функцій; адаптивні динамічні трансформуємі технологічні системи, адаптація яких відбувається за рахунок резервування вихідного ефекту, функціонального та структурного резервування шляхом включення в систему засобів адаптації, які розширяють можливості технологічної системи відносно її головного технологічного параметру, основних технічних характеристик та технологічних функцій.

Основи методології, динамічного розвитку та формування рішень по технології та організації інструментальних вимірювань при зведенні будівель та споруд розроблено в ДП НДІБВ, в роботі Григоровського П.Є. [8].

Показано, що процес визначення параметрів будівель і споруд є складною імовірнісною системою, що містить множини окремих елементів, варіативні комбінації яких являють проблемне дослідницьке поле для формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при зведенні та експлуатації будівельних об'єктів. Розроблено методи визначення періодичності інструментальних спостережень з урахуванням прогнозування процесів осідань, зсувів, динаміки рівня ґрунтових вод на початковому етапі життєвого циклу об'єкту з урахуванням термінів ремонтно-відновлювальних робіт у процесі експлуатації

Також в ДП НДІБВ Галінським О.М. [9] створено наукові основи технології улаштування протифільтраційних екранів плоским робочим органом під існуючою спорудою та їх сумісного застосування з вертикальними протифільтраційними екранами. Названі конструктивні рішення також є суміщеними з дренажем, для захисту ґрунтів і ґрунтових вод, при відсутності водоупора. Розроблена математична модель улаштування такого екрана з урахуванням отриманих залежностей і методика визначення конструктивно-технологічних характеристик екрана з урахуванням напружень і деформацій, які виникають в його елементах від ґрунтів і споруд, що розташовані вище.

Постановка завдання, основна частина. Будівельний процес, як технологічна система, утворюється набором технологічних систем нижчого ієрархічного рівня – робочими операціями. У свою чергу призначення та склад робочих операцій у цьому наборі жорстким чином пов'язані з тими перетвореннями, які мають зазнати предмети праці для перетворення продукту праці на закінчену, кінцеву будівельну продукцію. Технологічна структура будівельного процесу безпосередньо залежить від сукупності нових властивостей, що послідовно набувають предмети праці. Робочі операції, в свою чергу, формуються з урахуванням впливів, що забезпечують ці властивості (рис. 1). Предметом реалізації першого етапу життєвого циклу будівельного процесу є встановлення та оцінка цих властивостей. У загальному вигляді такими є зміни: положення у просторі; геометричних розмірів; форми; агрегатного стану; температури; тиску; міцності; щільності; електромагнітні властивості; хімічного складу.

Зіставлення початкових якостей предмету праці та кінцевих якостей продукту праці дозволяє визначити характер і послідовність змін, які мають бути зроблені у виробничому процесі (виробничий процес-сукупність будівельних процесів – технологічна система вищого ієрархічного рівня[10].

Надання цих якостей моделями – ідентичними за структурою для предмета та продукту праці наборами параметрів та показників – створює можливість кількісної оцінки динаміки їх змін. Сукупність у такій структурі різниць значень відповідних у таких моделях параметрів і показників утворює адекватну модель нових властивостей.

Одночасно з утворенням моделі нових властивостей аналізуються ймовірні умови виконання робіт з точки зору їх впливу (сприятливого або негативного) на можливість забезпечення необхідних перетворень предмета праці в будівельному процесі.

Отримані результати служать вихідними даними, виходячи з яких здійснюється вибір способу впливу, як правило, з накопиченого досвідом будівництва набору аналогів. Відпрацьований прототип коригується відповідно до можливих умов його реалізації та можливостей будівельної системи по забезпеченню необхідних засобів праці, накопичувачів, матеріалів.

Слід зазначити, що надалі мова буде виключно про механізовані робочі операції

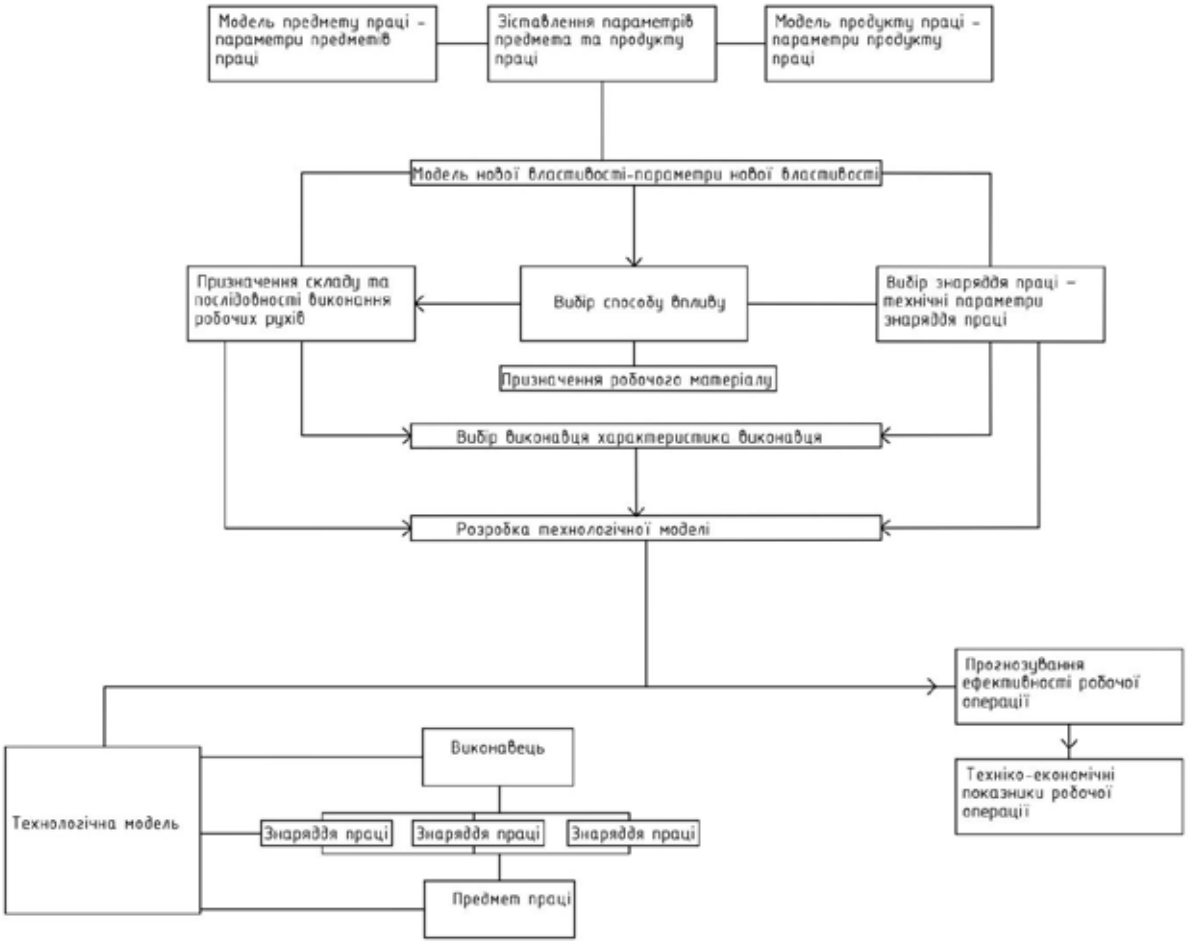


Рис. 1. Формування технологічної системи «робоча операція»

та будівельні процеси. Міра такої необхідності встановлюється значеннями параметрів і показників у моделі нової властивості, а забезпечується відповідністю їм технічних параметрів машин і характеристик виконавців. Так як машина крім технічних параметрів характеризується також такими показниками, як продуктивність і вартість (самої машини та її експлуатації), то при можливості вибору проводиться і техніко-економічне порівняння варіантів.

У разі відсутності аналогів має місце одна з таких ситуацій: відсутність у практиці будівництва досвіду та відповідного матеріально-технічного забезпечення, що відповідає вимогам предмету праці; при відомому характері впливу відсутній необхідний для його реалізації засіб механізації, що здатний реалізувати цей вплив; за наявності аналогу необхідного способу впливу та засобу механізації, здатного його реалізувати, технічні параметри або техніко-економічні показники останнього значно перевищують потребу, що представлена моделлю нової властивості; при відомому способі впливу та наявності машини, що потенціально цілком задовольняє потреби, які виражені моделлю та відсутній досвід виконання робочих прийомів.

Таким чином можна зробити висновок про те, що в будь-якій з цих ситуацій відсутній один або всі складові способу впливу або не відповідають можливості (у бік перевищення) засобу механізації потребам перетворення предмету праці.

Вирішення таких ситуацій знаходять у нових наукових та конструкторських розробках, що забезпечують створення нових способів впливу або їх складових.

Такий шлях ускладнює реалізацію другого етапу, проте створює заділ на майбутнє. Тим самим здійснюючи науково-технічний прогрес. Разом з тим, у практиці будівництва часто оперативна неможливість механізації робочих операцій компенсується ручною працею, а необхідність розробки нових способів впливу підмінюється зміною об'ємно-планувальних чи конструктивних рішень будівельної продукції.

Технологічна модель робочої операції, крім програмних дій з її реалізації, містить узгоджені з цією програмою сукупності параметрів, показників і характеристик складових, що виражають технологічні потреби робочої операції. Це означає, що предметне забезпечення виконавцями, машинами, інструментами, матеріалами, параметри, показники та характеристики яких перебувають у повній відповідності з цими потребами, забезпечує нормальний початок реалізації впливу, а саме за цієї умови складові робочої операції починають взаємодіяти так, як це передбачено в моделі. Такий нормальний початок впливу є умовою необхідною, але недостатньою. Розузгодження щодо будь-яких об'єктивним чи суб'єктивним причин заданої відповідності потреб і матеріального його забезпечення тягне або незапрограмовані дії у реалізації впливу, або взагалі призупиняє його. Тому підтримання необхідної відповідності технологічних потреб і матеріального забезпечення протягом усього періоду функціонування робочої операції після нормального початку впливу є єдиною гарантією виконання програми перетворення предмета праці продукт праці. Технологічні потреби робочої операції є складовими умов технологічної готовності фронту робіт (ТГФР) і, відповідно, будівельного процесу. Поняття ТГФР запропонував в КНУБА Фролов О.В. [9].

Звідси випливає, що технологічні потреби робочої операції зрештою визначаються динамікою перетворення предмета праці продукт праці через систему параметрів, показників і характеристик. Тому, в процесі цього перетворення можливе неузгодження технологічних потреб та їх забезпечення як внаслідок зміни стану цього забезпечення (його можливостей), так і через непередбачені зміни властивостей предмета праці. І ті, й інші зміни є дестабілізуючі фактори, що порушують запропонований програмою режим створення будівельної продукції. Тому, технологічна система робочої операції має, крім виробничої, та інші функції, що сукупно утворюють механізм підтримки відповідності технологічних потреб та їх предметного забезпечення. Такими функціями є управлінська, генеративна, ініціативна та виробнича (рис. 2).

Управлінська функція полягає у передачі від системи управління (технологічної моделі) або в самостійному формуванні програми дій робочого органу, формуванні керуючих команд та контролю виконання цих команд.

Генеративна функція виробляє необхідну енергію для фізичної передачі команд у формі керуючих імпульсів виконавчим механізмам машини (знаряддя праці).Якщо в ході реалізації робочої операції, за результатами контролю, буде встановлено факт відхилення здійснення впливу або придбаних предметом праці властивостей від запрограмованих, виникає необхідність регулювання системи робочої операції. Воно забезпечу-

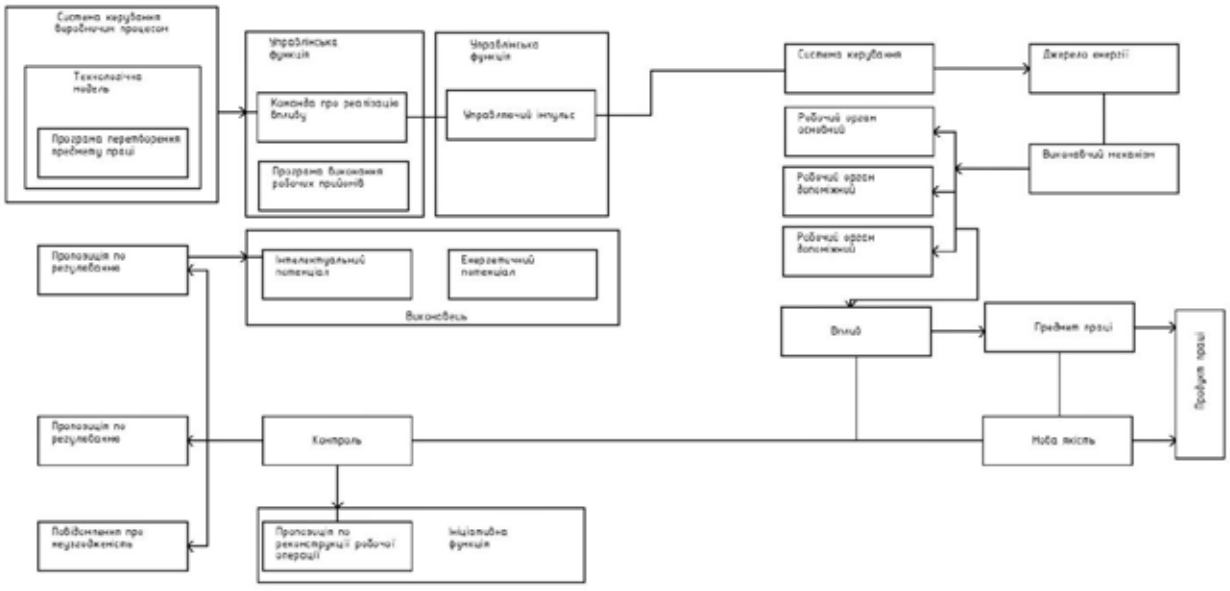


Рис. 2. Механізм взаємодії виконавця, знаряддя праці і предмету праці в робочій операції

ється управлінською функцією передачею в систему управління повідомлення про факт і причину неузгодженості та передачу від останньої нової команди, що коригує, до робочого органу.Пропозиції про спосіб регулювання можуть ініціюватися самою системою робочої операції і бувають оперативними або перспективними. Оперативні пропозиції виконуються самою системою робочої операції без звернення до системи керування. А у разі потреби залучення додаткових ресурсів для забезпечення ТГФР – через систему управління. Перспективними є пропозиції щодо реконструкції робочої операції. Цим не вирішуються проблеми неузгодженості у поточному періоді, приймаються системою управління як основу вдосконалення процесу в майбутньому. Вироблення таких пропозицій системою робочої операції становить зміст ініціативної функції.

У силу того, що ідентифікація робочої операції встановлюється єдністю поєднання способу впливу, предмету праці та машини, вона є досить постійним і жорстким утворенням. Сама собою робоча операція не впливає на динаміку будівельного процесу. Можливі заміни операцій в його структурі, що є ознакою динаміки, відбивають вплив властивостей предмету праці. Вибір машини, як знаряддя праці, визначається переважно робочим органом, точніше його здатністю реалізувати прийнятий до виконання вплив.

Вибір інших компонентів машини залежить від умов виконання робіт і безпосередньо зі способом впливу або предметом праці не пов'язаний. Наприклад, тип ходової частини та конструкція виконавчих механізмів повинні забезпечувати доступ робочого органу до предмету праці, а вид силової установки – можливість постачання потрібних енергоносіїв.

Вплив властивостей предмету праці на динаміку будівельного процесу проявляється на третьому етапі життєвого циклу – при його моделюванні. Воно має вираз в: можливості варіювання способів впливу та, відповідно, робочих операцій; ймовірності різних варіантів послідовності надання нових властивостей предмету праці та, відповідно, робочих операцій; можливості чергування робочих операцій у часі; різних комбінаціях ділянок фронтів робіт, на яких може здійснюватися водночас будівельний процес.Тим самим велика кількість складових будівельного процесу і варіантність кожного з них представляють потенційну можливість існування значної кількості різновидів структур будівельного процесу. Завдання моделювання принципово полягає у виборі єдиної структури з множини і має на меті пристосування структури процесу до динаміки перетворення предмету праці в продукт праці. Одночасно, вирішення цього завдання має враховувати можливість забезпечення ТГФР системою підготовки виробництва. Тому її рішення у певному сенсі полегшується обмеженнями, що накладаються цими можливостями.Їх відсутність виключає варіанти, реалізація яких може бути забезпечена ресурсами. І навпаки – варіанти, що підтверджені можливостями підготовки виробництва, утворюють безліч альтернативних варіантів.

Будь-яка організація робочих операцій у будівельному процесі, формує умови ТГФР, які складаються з технічних потреб цих операцій, а також потреб, що виникають внаслідок появи нових зв'язків між робочими операціями та функціонування процесу як єдиної системи вищого, ніж робоча операція, порядку.Умови ТГФР робочої операції включають потребу в: знаряддях праці – машинах, механізмах, інструментах та інших технічних ресурсах; виконавців – робітників; предметів праці та робочих механізмів – матеріальних ресурсів; енергоносіях; місці; технологічної моделі – інформаційному забезпечені.

Враховуючи сталість складу робочої операції та однозначний режим її функціонування, її потреба в управлінні з боку зовнішньої системи обмежується технологічною моделлю та рішеннями щодо регулювання ходу впливу. Потреби будівельного процесу в матеріально-технічних, енергетичних та трудових ресурсах утворюються простим підсумовуванням технологічних потреб складових його робочих операцій.

Потреба у будівельній готовності, що забезпечує робочі місця, вже не є такою сумою, а включає додаткові умови, що випливають із необхідності організації виконання кількох робочих операцій. Аналогічним чином здійснюється інформаційне забезпечення і управління. Численні зв'язки між складовими процесу, необхідність прогнозування роботи всієї системи та її елементів відокремлено, її контролю та регулювання, вимагають адекватних за складністю системи управління та узагальненої технологічної моделі.

Умови технологічної готовності фронту робіт (ТГФР) робіт надаються в узагальненій технологічній моделі сукупностями параметрів показників та характеристик.Відповідно до цих сукупностей формуються сукупності параметрів, показників та характеристик можливостей забезпечення ТГФР системою підготовки виробництва.

Можливості забезпечення ТГФР системою будівельного виробництва складаються з усіх видів ресурсів – наявних, очікуваних і закладених під програму виробничого процесу Наявні ресурси, які має система виробництва, найбільшою мірою гарантують виконання програми. Надійність забезпечення очікуваними ресурсами цілком залежить від виконання термінів, обсягів та змісту поставок, тобто має вже імовірнісний характер. Замовлення під програму представляють найбільш уразливе місце у системі забезпечення. Імовірнісний характер забезпечення ТГФР, є невід'ємною підсистемою та функцією будівельного виробництва і автоматично визначає і ймовірність будівельного процесу. Тому динамічність залежності його структури від властивостей предмета праці становить основу компенсаційного механізму пристосування або узгодження, технологічних потреб та забезпечення умов ТГФР. При цьому, на однакових умовах передбачається можливість компромісу як у утворенні структури будівельного процесу, так і у забезпеченні ТГФР.

Наприклад, на попередніх етапах життєвого циклу процесу встановлено найбільш прогресивний спосіб впливу та робочий орган. При вивченні можливостей забезпечення цього робочого органу виявляється, що система виробництва немає його в своєму розпорядженні і його придбання не очікується. Тим самим питання узгодження потреби з можливостями набуває альтернативного характеру – або відмовитися від цього способу впливу, замінивши його іншим, або замовляти цей робочий орган. Обидва результати мають негативними наслідки. У першому випадку, система відмовляється від підвищення ефективності виробництва та вдосконалення технології виконання робіт. Але підвищує надійність рішення та функціонування процесу. У другому випадку, можливе забезпечення прогресу системи, але знижується надійність рішення та функціонування процесу. Отже, в обох випадках, має місце ризик та необхідність компромісу. Остаточне рішення багато в чому залежить від суб'єктивних якостей системи керування. Подібним чином рішення ухвалюються і в інших випадках.Можливо в різній послідовності та в різних поєднаннях згрупувати всі впливи, що забезпечують нові властивості при перетворенні предмета праці на закінчену кінцеву продукцію.Як правило, окремим випадком є можливість виконання робочих операцій лише послідовно (рис. 3, а) або лише паралельно (рис. 3, б). Часто в загальній сукупності робочих операцій є такі, виконання яких може передувати іншим операціям, так і слідувати за ними (рис. 3, в, г). Можлива наявність робочих операцій, що реалізуються паралельно (одночасно) із деякими іншими (рис. 3, д, е). При необхідності, допускається робити перерви в виконанні робочих операцій та виконувати їх у два або кілька етапів. У проміжку між ними здійснюються інші робочі операції (рис. 3 ж).

Будівельний процес – система, що функціонує у часі та просторі. Тому призначення послідовності виконання операцій пов'язані з черговістю заміщення ділянок загального фронту будівельного процесу. Цей зв'язок визначається необхідністю забезпечення будівельної готовності ділянки фронту робіт на момент початку виконання робіт на ньому. При цьому, черговість освоєння дільниць може визначається як виключно вимогами забезпечення будівельної готовності – наприклад, зведення наступного ярусу неможливо починати до завершення попереднього, так і прагненням розширити межі частини фронту робіт, що освоюється. У першому випадку переважає послідовне переміщення складових по ділянках, а в другому – одночасне заміщення ділянок, навіть за рахунок організації виконання однієї й тієї операції одночасно на кількох дільницях. Послідовне освоєння фронту робіт вимагає мінімальної кількості виконавців та засобів праці, а паралельне (одночасне) їх збільшення.

Після остаточного узгодження технологічних потреб із можливостями їх забезпечення, а також перевірки за іншими критеріями (техніко-економічна оцінка), технологічна модель містить дві взаємопов'язані програми – виконання робіт (виконання робочих операцій) у часі та просторі та забезпечення умов ТГФР підсистемою підготовки виробництва. Ці програми регламентують функціонування будівельного процесу. Імовірність будівельного процесу, привнесена до нього характером

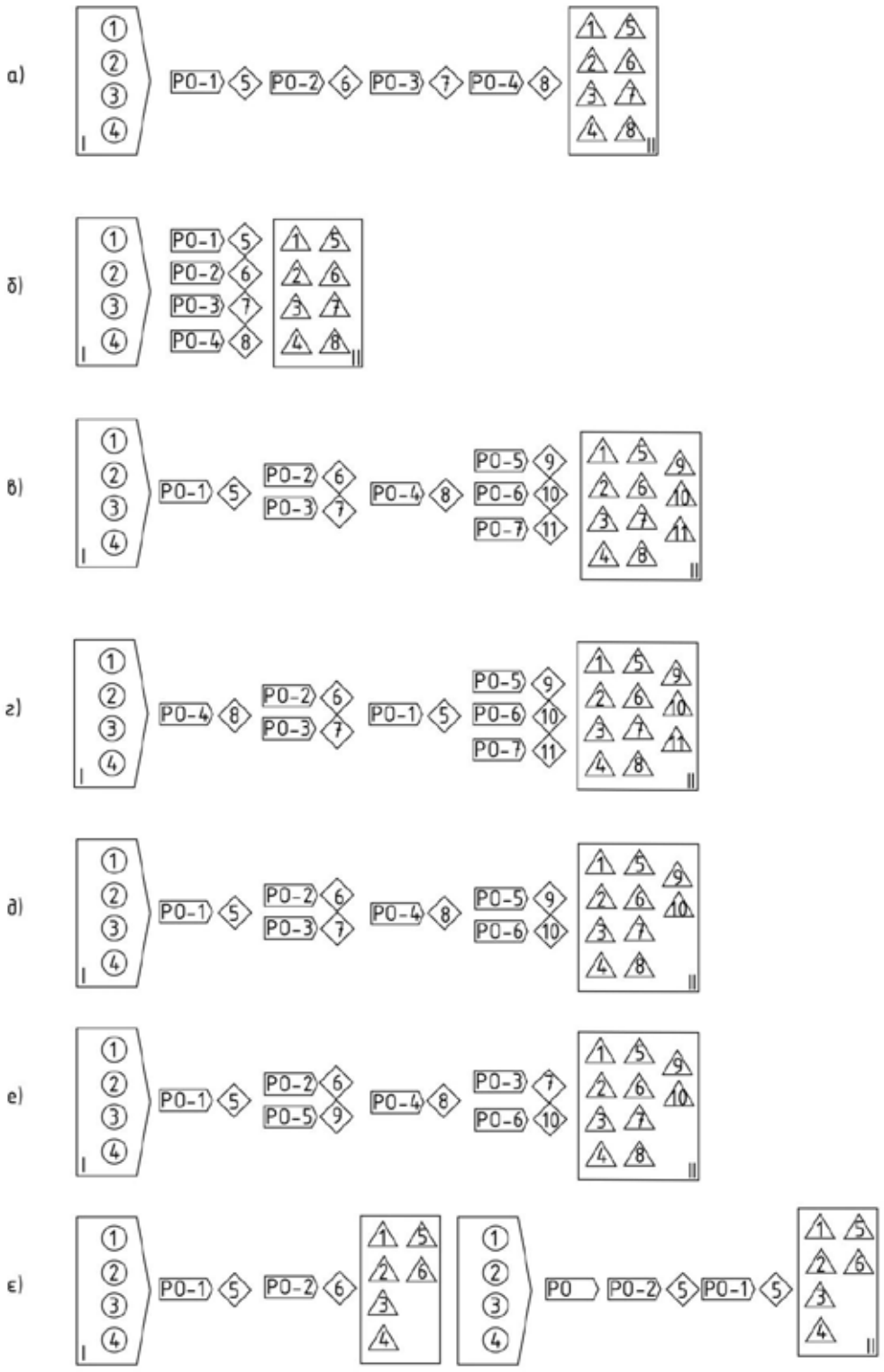


Рис. 3. Варіанти послідовності виконання робочих операцій. I – предмет праці; II – продукт праці; 1-4 – вихідні властивості; 5-11 – проміжні нові властивості; 1-11 – нові споживчі властивості продукту праці

забезпечення умов ТГФР як би зсередини системи будівельного виробництва, з початком функціонування реальних умов збільшується. Це пояснюється дією так званих дестабілізуючих факторів, що виникають як усередині системи, так і поза нею. Дестабілізуючі фактори – це непрогнозовані явища і дії, що створюють несприятливі передумови невідповідності виконання будівельного процесу режиму, що запрограмований. Дестабілізуючим фактором всередині системи будівельного виробництва можуть бути вихід з ладу машин і механізмів,

порушення технологічних режимів, недисциплінованість виконавців, прорахунки в технологічній моделі тощо. Поза цією системою такими є непоставки ресурсів, несприятливі природні умови, аварії системи життєзабезпечення будівельної інфраструктури тощо. Дія будь-якого дестабілізуючого фактора в кінцевому рахунку проявляється в незабезпеченні будь-якої умови ТГФР. Реакцією системи будівельного виробництва на неузгодженість технологічних потреб робочих операцій і їх забезпечення є вжиття заходів, які,насамперед, запобігають або мінімізують можливі несприятливі наслідки. Такими можуть бути: незапрограмовані втрати часу на переміщення фронтом робіт; простої робітників, машин; припинення виконання і-ї робочої операції на невизначений термін; зниження ефективності виконання робіт; зниження якості продукції.

Незапрограмовані втрати часу на переходи по фронту робіт пояснюються необхідністю переміщення машин та виконавців з однієї ділянки фронту робіт на іншу, а також організації робочого місця на новій ділянці фронту робіт та адаптації до нього. Непередбачені зупинки робітників, машин і фронту робіт виникають через неможливість забезпечити мінімально необхідних ТГФР по всьому фронту робіт. Якщо причина простою дуже серйозна і в майбутньому відновлення ТГФР не очікується, на даному об'єкті роботи припиняються, а виконавці і машини переводять на інший об'єкт.

Залежно від характеру недостатньої умови ТГФР можливість виконання робіт технічно зберігається, проте ця необхідність у тій чи іншій мірі відбивається або на ефективності виробництва, або на якості.Причому, у бік їх зниження. Наприклад, за відсутності машини (як умови ТГФР) для порівняно невеликого обсягу земляних робіт при будівництві теплиці приймається рішення виконувати їх вручну [11]. Тим самим наслідком недостатності забезпечення ТГФР буде збільшення трудомісткості і, найімовірніше, тривалості виконання робочої операції. Тобто, зниження ефективності виконання робіт.

Інший приклад. Для облицювальних робіт в приміщенні замість білого цементу (умова ТГФР) застосували звичайний. На експлуатаційних суто функціональних якостях облицювання ця заміна не вплинула. Проте має місце погіршення естетичних якостей будівельної продукції.

Як альтернативні заходи у випадках дії дестабілізуючих факторів (за винятком випадків виходу з ладу машини та оперативної задовільної заміни одних видів ресурсів іншими) принципово можливі :екстрене забезпечення недостатніх умов ТГФР з резервів або інших джерел засобами управління – найбільш сприятливий результат; переклад виконавців і машин на ділянки фронту робіт, де є або може бути оперативно забезпечена ТГФР – наслідки виражаються в порівняно невеликих втратах часу; очікування забезпечення ТГФР та як екстремальний його результат – переведення виконавців та машин на інший об'єкт – найважчий результат у разі дії дестабілізуючого фактора; перевод виконавців і машин на виконання інших операцій – найперспективніший спосіб реагування дію дестабілізуючих чинників. Однак тут слід дотримуватися важливої умови – здатність виконавців та машини (її робочого органу) виконувати альтернативні робочі операції [12].

Вочевидь, як і динаміка функціонування будівельного процесу проявляється у взаємному пристосуванні самого процесу, забезпеченні технологічної підготовки будівельного майданчику, та їх разом, до реальних умов виконання робіт. Причому, механізм цього пристосування подібний до механізму узгодження технологічних потреб будівельного процесу з можливостями забезпечення ТГФР на етапі моделювання, так як і тут і там використовуються аналогічні альтернативи.

Література

1. Черненко В.К. Методы монтажа строительных конструкций [Текст] / В.К. Черненко. К.: Будівельник, 1982. 208 с.
2. Технологія монтажу будівельних конструкцій: навчальний посібник / В.К. Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачеєв та інші; За ред. В.К. Черненка. К.: Горобець Г.С., 2011. 372 с.
3. Тонкачеєв Г.М. Функціонально-модульна система формування комплектів будівельної оснастки: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Геннадій Миколайович Тонкачеєв. К.: КНУБА, 2012. 37 с.
4. Тонкачеев Г.Н. Функционально-модульная система формирования комплексов строительной оснастки: Монография / Г.Н. Тонкачеев. К.: ЧП «Блудчий М.Н.», 2012. 158 с.
5. Федоренко П.П. Теоретичне обгрунтування і розробка основ технології монтажу легких металевих конструкцій з застосуванням системи напівавтоматичних пристроїв: автореф. дис... докт.техн.наук : 05.23.0 / Петро Петрович Федоренко. ХДТУБА – Харків, 1994. – 37 с.

6. Шпакова Г.В. Теоретико-методологічні засади формування еколого-економічного механізму розвитку біосферосумісного будівництва в Україні». – Автореф. дис.... д-ра екон. наук: 08.00.06 / Ганна Валентинівна Шпакова. – К.: КНУБА, 2021. – 37 с.
7. Осипов О.Ф. Система обгрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Осипов Олександр Федорович. – Одеса, 2015, 49 с.
8. Григоровський П.Є. Методологічні основи формування організаційно- технологічних рішень інструментальних вимірювань при зведенні та експлуатації будівель та споруд (Текст) : автореф.дис....д-ра техн.наук : 05.23.08 / Петро Євгенович Григоровський; Харків, ХНУБА, 2019. 38 с.
9. Галінський О.М. Наукові основи створення технологій улаштування протифільтраційних екранів в грунті плоским робочим органом (Текст) : автореф.дис....д-ра техн.наук : 05.23.08 / Олександр Михайлович Галінський; Одеса, ОДАБА,2016, 47 с.
10. Фролов А.В. Обеспечение технологической готовности фронта работ строительных процессов. Дисс....канд.техн. наук : 05.23.08 / Алексей Викторович Фролов; К.:КИСИ,-1988. – 17 с.
11. Чебанов Т.Л. Технологія зведення швидко-збірних та розбірних плівкових теплиць – автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.08 / Тарас Леонідович Чебанов. – Київ, КНУБА, 2020. 21 с.
12. Чебанов Л.С., Фролов А.В. Универсальное применение машин в строительстве. К.: Будівельник, 1994. 288 с.

References

1. Chernenko V.K. Metody montazha stroitelnyh konstrukcij [Tekst] / V.K. Chernenko. K.: Budivelnik, 1982. 208 s.
2. Tehnologiya montazhu budivelnih konstrukcij: navchalnij posibnik / V.K. Chernenko, O.F. Osipov, G.M. Tonkacheyev ta inshi; Za red. V.K. Chernenka. K.: Gorobec G.S., 2011. 372 s.
3. Tonkacheyev G.M. Funkcionalno-modulna sistema formuvannya komplektiv budivelnoyi osnastki: avtoref. dis.... d-ra tehn. nauk: 05.23.08 / Gennadij Mikolajovich Tonkacheyev. K.: KNUBA, 2012. 37 s.
4. Tonkacheev G.N. Funkcionalno-modulnaya sistema formirovaniya kompleksov stroitelnoj osnastki: Monografiya/ G.N. Tonkacheev. K.: ChP «Bludchij M.N.», 2012. 158 s.
5. Fedorenko P.P. Teoretichne obgruntuvannya i rozrobka osnov tehnologiyi montazhu legkih metalevih konstrukcij z zastosuvannyam sistemi napivavtomatichnih pristroyiv: avtoref. dis... dokt.tehn.nauk : 05.23.0 / Petro Petrovich Fedorenko. HDTUBA. Harkiv, 1994. 37 s.
6. Shpakova G.V. Teoretiko-metodologichni zasadi formuvannya ekologo-ekonomichnogo mehanizmu rozvitku biosferosumisnogo budivnictva v Ukrayini». – Avtoref. dis.... d-ra ekon. nauk: 08.00.06 / Ganna Valentinivna Shpakova. K.: KNUBA, 2021. 37 s.
7. Osipov O.F. Sistema obgruntuvannya ta viboru organizacijno-tehnologichnih rishen rekonstrukciyi budivel: avtoref. dis. d-ra tehn. nauk: 05.23.08 / Osipov Oleksandr Fedorovich. Odesa, 2015, 49 s.
8. Grigorovskij P.Ye.Metodologichni osnoviformuvannya organizacijno- tehnologichnih rishen instrumentalnih vimiryuvan pri zvedenni ta ekspluataciyi budivel ta sporud (Tekst) : avtoref.dis....d-ra tehn.nauk : 05.23.08/ Petro Yevgenovich Grigorovskij; Harkiv, HNUBA, 2019. 38 s.
9. Galinskij O.M. Naukovi osnovi stvorennya tehnologij ulashtuvannya protifiltracijnih ekraniv v grunti ploskim robochim organom (Tekst) : avtoref.dis....d-ra tehn.nauk : 05.23.08/ Oleksandr Mihajlovich Galinskij; Odesa, ODABA, 2016, 47 s.
10. Chebanov T.L. Tehnologiya zvedennya shvidko-zbirnih ta rozbirnih plivkovih teplic – avtoref. dis.... kand. tehn. nauk: 05.23.08 / Taras Leonidovich Chebanov. Kyiv, KNUBA, 2020, 21 s.
11. Chebanov L.S., Frolov A.V. Universalnoe primenenie mashin v stroitelstve. K.: Budivelnik, 1994. 288 s.

DYNAMICS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS IN MULTIFUNCTIONAL SYSTEM

Abstract. The technology of construction production considers the processes of transformation of objects of labor into labor products through various dynamic transformations (influences) with the use of labor tools, machines and mechanisms. The content of transformations, its structure is described by relevant technological systems. The conversion process modeled as such systems is described by models of the structure of the conversion system. Thus, due to the influence of various actors on the change of the properties of the object, transformations take place.The system in the form of a construction process has its own structure with a corresponding hierarchy – subordination of its elements with a multi-level structure. Complex systems divide subsystems in order to optimize their elements by formalizing design procedures and create a method for designing multifunctional systems.

The technological system contains agreed sets of parameters, indicators and characteristics of the components that express the technological needs of the work operation. This means that the material provision of performers, machines, tools, materials, parameters, indicators and characteristics of which are in full compliance with these needs, ensures a normal start of the implementation of the influence. It is under this condition that the components of the work operation begin to interact as provided for in the model.

Open systems with elements – modules and adaptive stable interconnections that ensure their operational transformation under the influence of changes in the conditions of work or technology parameters are the essence of their dynamic development One of the effective ways of implementing such multifunctional dynamic technological systems is the use of universal construction and road machines and mechanisms, as well as hand tools.

Key words: dynamics of the construction process; multifunctional technological systems; construction technologies; construction machines; replaceable working bodies.

Chebanov T.L.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

УДК 624.131;693.1/9;69.059
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.42.6

Хоменко В.М.
с.н.с,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

КОМПЛЕКСНЕ ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ СТІН БУДИНКІВ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ, ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Анотація. *Під час довготривалих пожеж цегляні стіни будинків під впливом високих температур зазнають різних суттєвих пошкоджень, а саме: глибокі силові та температурно-усадочні тріщини, відколювання кутів кладки, порушення зчеплення цегли з розчином, деструкція поверхневого шару цегли, зниження міцності цегли та розчину по глибині кладки. Дана проблема розглянута на прикладі дослідження технічного стану житлового багатоквартирного будинку в м. Ірпінь на вул. Ново-Оскольська, 1-К, який було пошкоджено внаслідок військової агресії Російської Федерації проти України навесні 2022 р. Для визначення технічного стану, окрім візуального, виконано комплексне інструментальне обстеження цегляної кладки за допомогою приладів неруйнівного контролю таких як «Пульсар 2.1» (ультрозвуковий метод), «Онікс 2.5» (метод пластичних деформацій), «Поиск-М» (магнітний метод). Отримані дані можливо використовувати при обстеженні подібних цегляних будинків, що зазнали впливу довготривалої пожежі.*

Ключові слова: пожежа, цегляна кладка, розчин, пошкодження, прилади, неруйнівний контроль, міцність, розрахунки.

Постановка проблеми.

Під час довготривалих пожеж цегляні стіни будинків під впливом високих температур зазнають різних суттєвих пошкоджень, а саме: глибокі силові та температурно-усадочні тріщини, відколювання кутів кладки, порушення зчеплення цегли з розчином, деструкція поверхневого шару цегли, зниження міцності цегли та розчину по глибині кладки. Проблему розглянуто на прикладі дослідження технічного стану житлового багатоквартирного будинку в м. Ірпінь на вул. Ново-Оскольська, 1-К, який було пошкоджено внаслідок військової агресії Російської Федерації проти України навесні 2022 р. Житловий 7-ми пов. цегляний будинок побудований в 2014 р, розміром в плані 27х14 м (рис. 3.1). Несучі стіни товщиною 380 мм виконані з цегли силікатної рядової марки М200, цегли глиняної звичайної марки М100 та каменю керамічного порожнистого 2,12НФ. Кладка виконана на цементно-піщаному розчині марки М100 та армована сітками. По стінам в рівні підвального, 3-го та 6-го поверхів влаштовано монолітні залізобетонні обв'язувальні пояси. Перекриття – збірні залізобетонні круглопустотні плити. Дах 2-скатний з дерев'яних трикутних ферм з брусу.

Аналіз світового досвіду обстеження цегляних стін після пожежі.

Обстеження цегляних стін після пожежі є важливою процедурою для забезпечення безпеки та визначення необхідного обсягу ремонту. Світовий досвід показує, що такі обстеження проводяться в багатьох країнах, а результати використовуються для прийняття рішень щодо обсягів ремонту та забезпечення безпеки будівлі. Міжнародний досвід показує, що проведення таких обстежень відповідно до стандартів та процедур є надзвичайно важливим, щоб забезпечити ефективне відновлення та безпеку будівлі. У США проводяться обстеження після пожежі відповідно до стандартів ASTM E2026 та E2259. ASTM E2026, що визначає процедуру для визначення обсягу пошкоджень на кожній стіні, а також для оцінки загального стану будівлі. У Великій Британії, обстеження стін після пожежі проводять відповідно до стандартів BS 8414 та BS 9999. BS 8414 визначає процедуру для випробування вогнестійкості стін, що піддаються дії відкритого вогню. BS 9999 визначає процедуру для оцінки ступеня пошкодження будівлі та визначення необхідного обсягу ремонту.

У Європі, обстеження стін після пожежі проводяться відповідно до EN 1363-1 та EN 1364-1. EN 1363-1 визначає процедуру для випробування вогнестійкості стін та оцінки їх ступеня пошкодження. В РФ використовується СП 329.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара». В Україні ДБН В.1.1.7–2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

Методологія та результати досліджень.

При високій температурі, що виникає в результаті пожежі, відбувається зміна структури та фізико-механічних властивостей цегли та кладки в цілому. Для визначення технічних характеристик та стану пошкоджених пожежею цегляних стін, їх залишкової несучої здатності, виконано комплекс робіт, який включав в себе попереднє та детальне обстеження.

Попереднім обстеженням виявлено:

1. сліди пожежі (рис. 1): часткове вигорання фасадів, руйнування облаштування стін та стелі, попіл, оплавлені залишки скла та інше пожежне сміття, втрата форми залишків металевих побутових приладів, часткове вигорання кіптяви на поверхнях конструкцій, зміна кольору поверхні бетону на рожевий та темно-жовтий, що свідчать про довготривалість пожежі з температурою горіння біля 1000^{o}C;

2. зафіксовано пошкодження несучих конструкцій та складено план подальших інструментальних досліджень.

Інструментальним обстеженням визначено:

1. ширину розкриття тріщин в стінах до 0,2 мм, величину сколів кладки до 100 мм, товщину деструкції поверхневого шару глиняної цегли до 25 мм, відсутність зчеплення з розчином крайніх цеглин простінків (рис. 2).

2. міцність цегли та розчину приладами неруйнівного контролю: «Пульсар 2.1» (вимірювач часу розповсюдження ультразвуку) та «Онікс 2.5» (електронний склерометр) (рис. 3-5);

3. наявність армування цегляної кладки стін вимірювачем товщини захисного шару бетону «Поиск-М» (рис. 6);

4. глибину тріщин в стінах приладом «Пульсар-2.1» (рис. 7).

На основі отриманих даних виконано перевірочні розрахунки стін.

Роботи виконано згідно ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 [1] та Методики [2].

Дослідження міцності цегли та розчину.

Визначення міцності цегли та розчину кладки було виконано за допомогою вимірювання та порівняння часу проходження ультрозвукових хвиль (ультрозвуковий метод) та енергії удару (метод ударного імпульсу) на поверхні та в кількох точках по глибині кладки (на поверхні, 60 мм, 120 мм) однакових конструкцій, які були та не були пошкоджені пожежею (рис. 3). Побудовано графіки залежності часу проходження хвиль від глибини вимірювання (рис. 4).

В результаті досліджень виявлено, що

1. міцність на стиск глиняної звичайної глиняної цегли та каменю керамічного 2,1НФ не знизилася, окрім деструктивного поверхневого шару товщиною 15-25 мм, який легко видаляється з поверхні кладки;

2. міцність на стиск силікатної цегли на поверхні стіни менше від проектного значення М200 на 30 %, що відповідає марці М150;

3. міцність на стиск цементно-піщаного розчину на поверхні стіни менше від проектного значення М100 в середньому на 62%, що відповідає марці М25, на глибині 60 мм від поверхні – менше на 52%, що відповідає марці М50. Міцність розчину досягає проектної величини М100 на глибині ≈100 мм від поверхні стіни з боку пожежі. Поступове збільшення міцності розчину від поверхні стіни в глибину кладки відбувається по поліноміальній функції $y=0{,}0044x2 – 0{,}9258x + 76{,}6$ (рис. 5), яку можливо використовувати для оперативного визначення міцності розчину в інших подібних випадках.

Перевірка наявності армування цегляної кладки стін.

Наявність армування цегляної кладки стін було перевірено за допомогою вимірювача товщини захисного шару бетону та положення арматури «ПОИСК-М» (рис. 6).

В результаті в одному з досліджуваних цегляних простінків армування виявлено тільки на висоту 1,6 м від рівня підлоги.

Визначення глибини тріщин в стінах

Визначено глибину тріщин в конструкціях за допомогою приладу «Пульсар-2.1». (рис. 7).

В результаті в цегляних простінках визначено глибину тріщин 30-120 мм.

Результати виконаних інструментальних досліджень зведено в табл. 1.

Перевірочні розрахунки.

Внаслідок пожежі відбулись кількісні зміни фізико-механічних характеристик

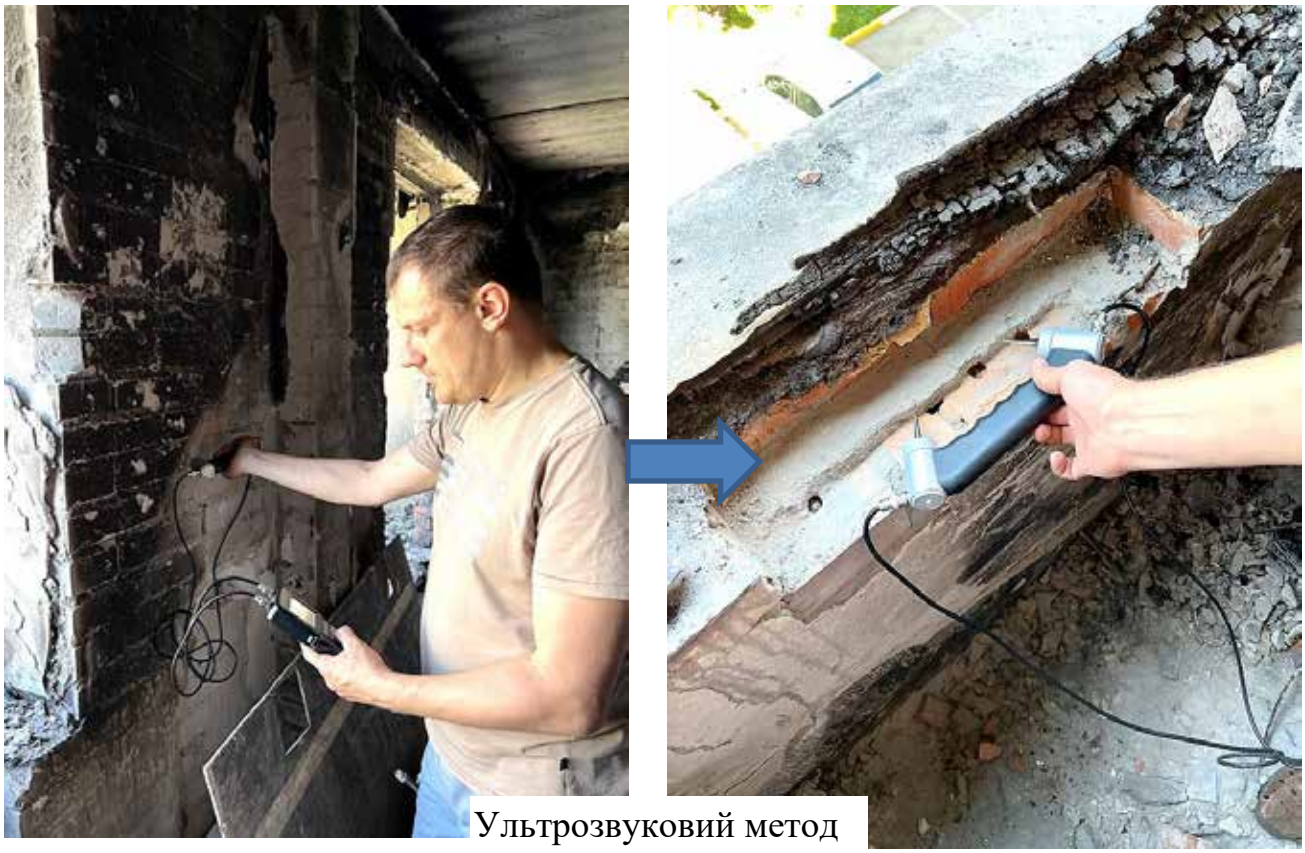
Рис. 1. Сліди пожежі ззовні та всередині будинку

Сколювання кутів силітактої цегли

Деструкція глиняної звичайної цегли

Деструкція каменів 2,12НФ

Рис. 2. Пошкодження цегляної кладки стін будинку



Ультрозвуковий метод

Метод пластичних деформацій

Рис. 3. Процес дослідження стін методами неруйнівного контролю

Рис. 4. Час проходження хвиль в різних точках по глибині кладки однакових конструкцій, яка була та не була пошкоджена пожежею

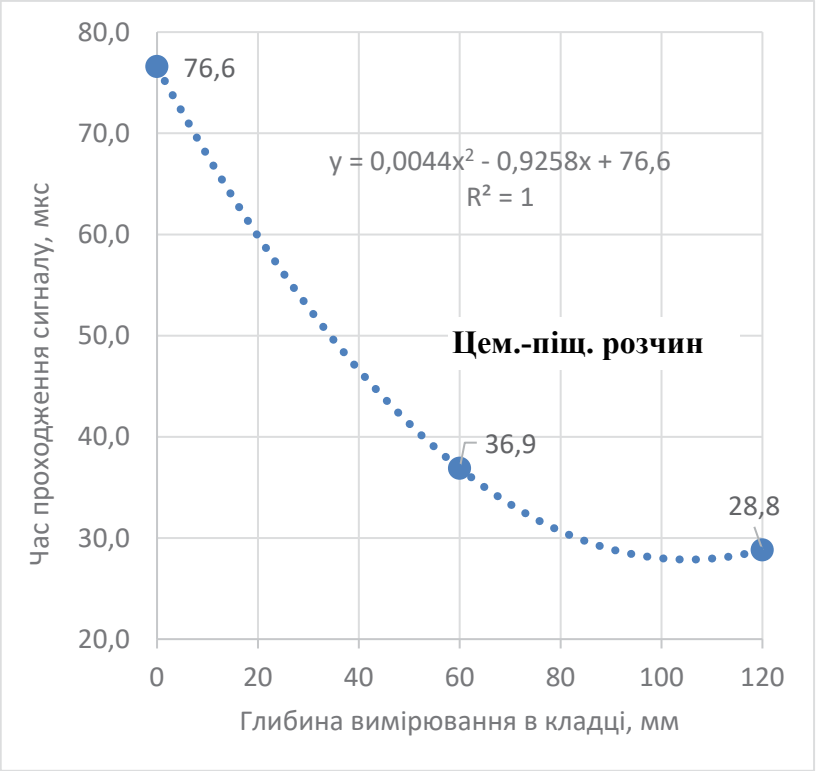


Рис. 5. Функція розподілу часу хвилі в цементно-піщаному розчині по товщині кладки

Рис. 6. Пошук арматури за допомогою приладу «ПОИСК-М»

конструкцій та відповідно зменшення площ розрахункових поперечних перерізів простінків, які необхідно враховувати в перевірочних розрахунках. Найбільші втрати площі виникли внаслідок зменшення міцності на стиск цементно-піщаного розчину кладки та наявністю тріщин в стиснутій зоні простінків глибиною min до 120 мм. (рис. 8 А). Міцність пошкодженого пожежею розчину знаходиться в межах марки М25-М50. В п. 9.1.7 [9] зазначено, що марку розчину для армокам'яних конструкцій треба приймати не нижче М50. Таким чином з розрахунку було виключено площі простінків зі зниженою міцністю розчину. Втрати площі поперечних перерізів простінків склали 26-44 %. (рис. 8 Б) Внаслідок втрат поперечного перерізу з'явилися додаткові ексцентриситети до 40 мм від дії

вищерозрашованих конструкцій. Оскільки виявлено, що армування одного з простінків з силікатної цегли часткове і не в повній мірі відповідає проекту, то його розраховано як неармований. Збір навантажень та розрахунок виконано за [7, 8, 9].

Розрахунками несучої здатності встановлено, що використання несучої здатності 3-х з 5-ти розрахованих простінків складає 100-110 %.

Висновки:

1. Під час обстеження цегляних стін будинків, які постраждали внаслідок довготривалої пожежі для визначення їх технічного стану окрім візуального обстеження необхідно виконати комплекс інструментальних досліджень приладами неруйнівного контролю таких як «Пульсар 2.1» (ультрозвуковий метод), «Онікс 2.5» (метод пластичних деформацій), «Поиск-М» (магнітний метод).

2. В рамках детального інструментального обстеження визначенно міцність цегли та розчину за допомогою порівняння часу проходження ультрозвукових хвиль (ультрозвуковий метод) та енергії удару (ударний імпульс) на поверхні та по глибині кладки, яка була та не була пошкоджена пожежею. Ультрозвуко-

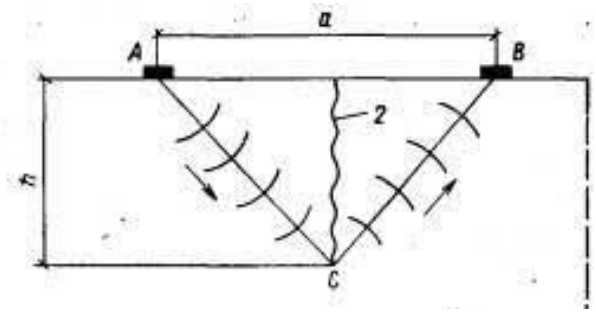


Рис. 7. Визначення глибини тріщин

Таблиця 1. Результати виконаних інструментальних досліджень

Параметр	Силікатна цегла	Керамічна повнотіла цегла	Камінь керамічний 2НФ	Цементно-піщаний розчин	Монолітний з/б пояс
Сколювання кутів (катет), мм	100	50	-	-	-
Деструкція поверхневого шару, мм	-	20	40	-	-
Ширина розкриття тріщин, мм	до 0,2	до 0,2	до 5,0	до 0,2	до 0,2
Глибина тріщин, мм	32- min 120	-	-	-	15-66
Зменшення міцності на стиск, %	26-30	-	-	40-60	45-53
Втрата перерізу з боку пожежі, мм	-	20	40	100	-

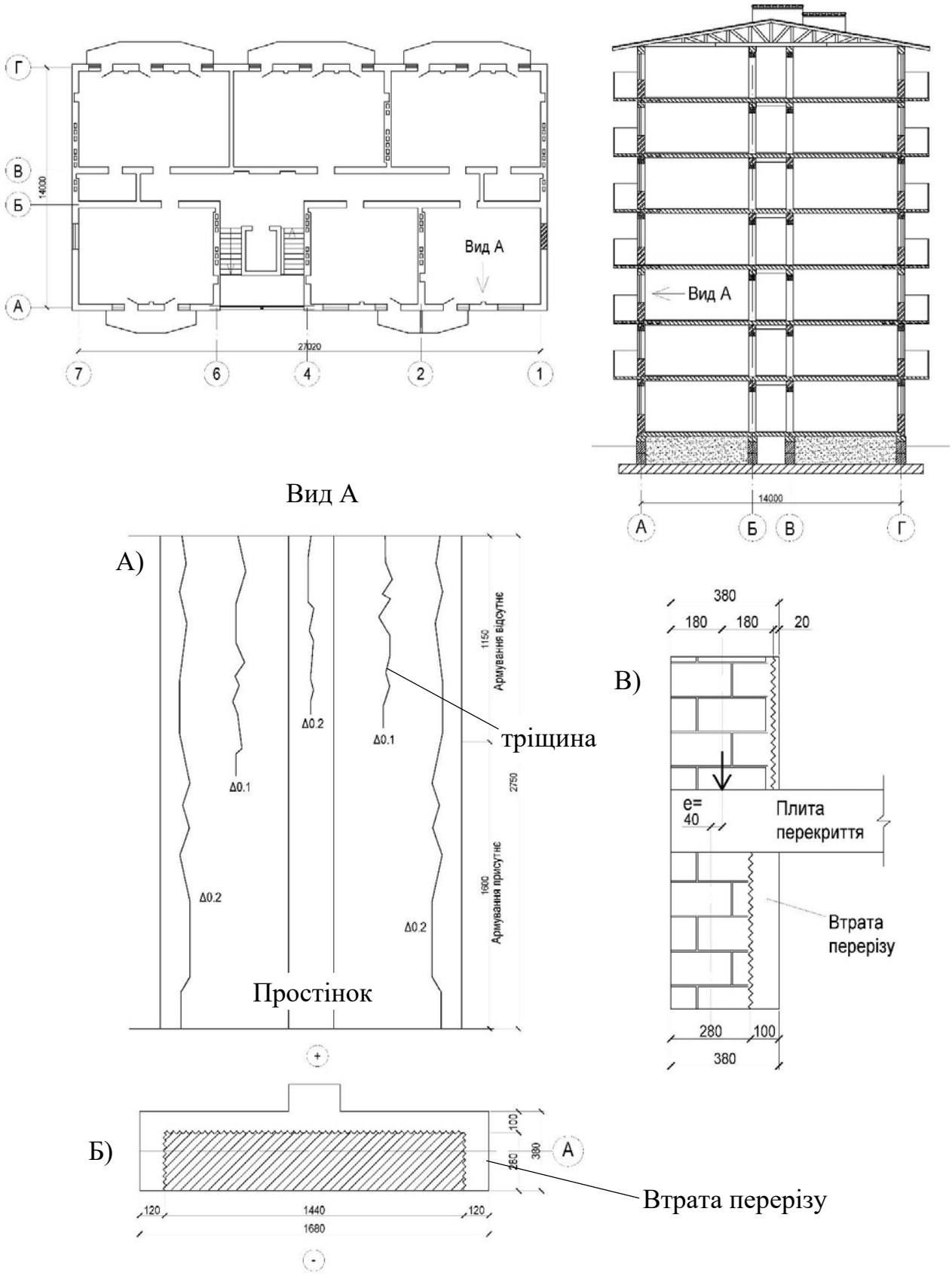


Рис. 8. Визначення втрат розрахункової площі простінків внаслідок пошкоджень

вим методом визначається глибина тріщин в кладці, магнітним методом – наявність армування в кладці.

3. Під час пожежі відбуваються суттєві кількісні зміни фізико-механічних характеристик конструкцій, зниження міцності цегли та розчину по глибині кладки, виникають пошкодження у вигляді поверхневої деструкції кладки, глибоких тріщин, сколювання кутів кладки, зниження зчеплення цегли з розчином. Внаслідок чого відбуваються втрати площ розрахункових поперечних перерізів простінків та поява додаткових ексцентриситетів від на простінок від ваги розташованих вище конструкцій, що призводить до зміни розрахункової схеми.

4. На основі даних комплексного інструментального обстеження виконано розрахунки несучої здатності цегляних стін та надано рекомендації щодо першочергових протиаварійних заходів та підсилення конструкцій.

5. Складено функцію розподілу міцності цементно-піщаного розчину по товщині простінку як найбільш вразливої для пожежі складової цегляної кладки. Отриману залежність можливо використовувати для оперативного визначення міцності розчину по глибині кладки в інших подібних випадках.

Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану».
2. МЕТОДИКА обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів.
3. ДСТУ Б.В.2.7-61:2008 «Цегла та камені керамічні рядові та лицьові».
4. ДСТУ Б В.2.7-80:2008 «Цегла та камені силікатні».
5. ДСТУ Б В.2.7-226:2009. Ультразвуковий метод визначення міцності матеріалів.
6. ДСТУ Б В.2.6-4-95. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури.
7. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування».
8. ДБН В.2.6-162:2010 Кам'яні та армокам'яні конструкції.
9. ДСТУ Б. В.2.6-207:2015 Розрахунок і конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій будівель та споруд

References

1. DSTU-N B V.1.2-18:2016 «Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu» [Instructions on the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition].
2. Metodyka obstezhennia budivel ta sporud, poshkodzhenykh vnaslidok nadzvychainykh sytuatsii, boiovykh dii ta terorystychnykh aktiv [Methods of inspection of buildings and structures damaged as a result of emergency situations, hostilities and acts of terrorism].
3. DSTU B.V.2.7-61:2008 «Tsehla ta kameni keramichni riadovi ta lytsovi» [Bricks and stones ceramic ordinary and face].
4. DSTU B V.2.7-80:2008 «Tsehla ta kameni sylikatni» [Silicate bricks and stones].
5. DSTU B V.2.7-226:2009. Ultrazvukovyi metod vyznachennia mitsnosti materialiv [Ultrasonic method of determining the strength of materials].
6. DSTU B V.2.6-4-95. Konstruktsii zalizobetonni. Mahnitnyi metod vyznachennia tovshchyny zakhysnoho sharu betonu i roztashuvannia armatury [Reinforced concrete structures. Magnetic method of determining the thickness of the protective layer of concrete and the location of reinforcement].
7. DBN V.1.2-2:2006 «Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia» [Loads and impacts. Design norms].
8. DBN V.2.6-162:2010 Kamiani ta armokamiani konstruktsii [Stone and decorative stone structures].
9. DSTU B. V.2.6-207:2015 Rozrakhunok i konstruiuvannia kamianykh ta armokamianykh konstruktsii budivel ta sporud [Calculation and construction of stone and reinforced stone structures of buildings and structures].

COMPLEX INSTRUMENTAL INSPECTION OF BRICK MASONRY WALLS OF BUILDINGS THAT HAVE BEEN INFLUENCED BY FIRE USING NON-DESTRUCTIVE CONTROL DEVICES

Abstract. During long-term fires, the brick walls of buildings under the influence of high temperatures undergo various significant damages, namely: deep strength and temperature-shrinkage cracks, chipping of masonry corners, violation of brick-mortar adhesion, destruction of the surface layer of bricks, reduction of the strength of bricks and mortar along the depth of the masonry. This problem is considered on the example of a study of the technical condition of a residential apartment building in the city of Irpin on the street. Novo-Oskolska, 1-K, which was damaged as a result of the military aggression of the Russian Federation against Ukraine in the spring of 2022. To determine the technical condition, in addition to the visual one, a comprehensive

instrumental examination of the masonry was performed using non-destructive testing devices such as "Pulsar 2.1" (ultrasonic method), "Onyx 2.5" (plastic deformation method), "Poisk-M" (magnetic method). The data obtained from the survey can be used in the survey of brick buildings that have been affected by a long-term fire.
Keywords: fire, brickwork, mortar, damage, instrumentation, non-destructive testing, strength, calculations.

Khomenko V.M.
Senior Research Officer,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

ЗМІСТ

Кайдаш М.Д.
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ВЕЛИКИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ СТАТИЧНИХ І ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 3

Мітрофанов В.П., Митрофанов П.Б.
РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ТРІЩИНАМИ НА ОСНОВІ СПЕЦІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕННЯ ЗА КРАЄМ ТРІЩИНИ 18

Постернак О.О., Кравченко С.А., Уразманова Н.Ф., Агаєва О.А., Столевич І.А.
РОБОТА СТІНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО БЕЗАВТОКЛАВНОГО ПІНОБЕТОНУ В УМОВАХ ПОЗАЦЕНТРОВОГО СТИСКУ 29

Чебанов Т.Л.
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА БУДІВЕЛЬНИХ УНІВЕРСАЛЬНИХ МАШИН 35

Чебанов Т.Л.
ДИНАМІКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛЬНИХ СИСТЕМАХ 43

Хоменко В.М.
КОМПЛЕКСНЕ ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ СТІН БУДИНКІВ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ, ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ 54

CONTENTS

Kaidash M.D.
ENSURING THE STABILITY OF LARGE BUILDING STRUCTURES UNDER CONDITIONS OF STATIC AND VIBRATION LOADS 3

Mitrofanov V.P., Mytrofanov P.B.
STRENGTH DESIGN OF CONCRETE ELEMENTS WITH CRACKS ON THE BASIS SPECIAL STRESS DISTRIBUTION BEFORE CRACK EDGE 18

Posternak O.O., Kravchenko S.A., Urazmanova N.F., Ahaieva O.A., Stolevich I.A.
WORKING OF STRUCTURAL AND HEAT-INSULATING NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE WALL ELEMENTS UNDER CONDITIONS OF NONCENTRIC COMPRESSION 29

Chebanov T.L.
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION UNIVERSAL MACHINES 35

Chebanov T.L.
DYNAMICS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS IN MULTIFUNCTIONAL SYSTEM 43

Khomenko V.M.
COMPLEX INSTRUMENTAL INSPECTION OF BRICK MASONRY WALLS OF BUILDINGS THAT HAVE BEEN INFLUENCED BY FIRE USING NON-DESTRUCTIVE CONTROL DEVICES 54

Регламенти контролю якості виконання будівельних робіт

1. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ**
2. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ**
3. Регламент контролю якості **ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
4. Регламент контролю якості **ПРИ МОНТАЖІ ЗБІРНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
5. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
6. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**
7. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ МОНТАЖІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
8. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ НЕПРОХІДНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**
9. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ**
10. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ**
11. Регламент контролю якості **ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**
12. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ**
13. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ВІКОН І ДВЕРЕЙ**
14. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ ВНУТРІШНІХ САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
15. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ**
16. Регламент контролю якості **РОБІТ ІЗ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ**

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Науково-технічний журнал

Випуск № 42

Підписано до друку 16.02.2023 р. Формат 60×84/8. Обл.-вид. арк. 4,62, ум. друк. арк. 7,56.
Папір офсетний. Цифровий друк. Наклад 200 примірників. Замовлення № 0623/361.

Надруковано: Видавничий дім «Гельветика»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.)
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua