

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАГЛИБЛЕНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

Савицький М.В., Нікіфорова Т.Д.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
м. Дніпро, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Представлені основні положення проектування конструкцій екологічних заглиблених житлових будівель. Розроблена загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності. Запропоновано методи оцінки функціональних властивостей конструкцій заглиблених житлових будівель.

**АННОТАЦИЯ:** Представлены основные положения проектирования конструкций экологических заглубленных жилых зданий. Разработана общая схема требований и ограничений, предъявляемых к характеристикам несущих и ограждающих конструкций для удовлетворения параметров безопасности, функциональности, санитарной гигиены, экономичности и экологичности. Предложены методы оценки функциональных свойств конструкций заглубленных жилых зданий.

**ABSTRACT:** The main provisions of the structural design ecological earth sheltered residential buildings are presented. Developed general scheme requirements and restrictions imposed on the characteristics of bearing and enclosing structures, to meet the safety parameters, functionality, health care, efficiency and ecology. The methods of evaluation of the functional properties of constructions of earth sheltered residential building are proposed.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** заглиблені житлові будівлі, життєвий цикл, функціональні властивості конструкцій

## ВСТУП

Нові суспільно-політичні та економічні реалії, а саме: існуюча житлова проблема; обмежений обсяг економічного при будівництві, експлуатації та ліквідації в кінці життєвого циклу житла; забудова приміських територій і візуальне забруднення цінних ландшафтів; зростаюча інтенсивність природних і техногенних катастроф, військових дій; вичерпання енергоресурсів вимагають створення альтернативних умов середовища проживання людини. В умовах перерахованих факторів альтернативою традиційному житлу можуть бути заглиблені житлові будівлі, що характеризуються можливістю гармонізації з навколишнім ландшафтом, високою енергоефективністю за рахунок термоізоляційних властивостей ґрунту і стабільного теплового режиму в ґрунті, підвищеною живучістю при екстремальних впливах.

Норми України з проектування житлових будинків не дозволяють розміщувати житлові приміщення нижче рівня поверхні землі [1]. Однак успішний закордонний досвід будівництва заглиблених житлових будівель [2 - 9] свідчить про можливість проектування і будівництва аналогічних будівель в Україні. В зв'язку з цим виникає необхідність в дослідженнях з розроблення об'ємно-планувальних і конструктивних рішень заглиблених будівель, розробки методів розрахунку конструкцій і інженерних систем для виконанні вимог безпеки, функціональності, санітарної гігієни, економічності і екологічності.

**Мета роботи** - розробка загального підходу, методів і принципів розрахунку і проектування конструкцій заглиблених житлових будівель з урахуванням зовнішніх силових та кліматичних впливів для забезпечення параметрів безпеки та санітарної гігієни при мінімізації витрат на стадіях життєвого циклу будівель і оцінка екологічних показників заглибленої будівлі.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Безпека і комфортність перебування людей в заглиблених житлових будинках забезпечується несучими конструкціями, огорожувальними конструкціями та інженерними системами будівлі. На основі аналізу вимог нормативно - технічної документації, що регламентує проектні параметри несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, параметрів мікроклімату приміщень житлових будинків розроблена загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до заглибленим житлових будинків для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни, економічності, екологічності [10].

Умови функціональної придатності конструкцій та інженерних

систем заглиблених будівель задаються у вигляді системи обмежень. Використовується три основних види нормування функцій властивостей (фізико-технічних характеристик) конструкцій або інженерних систем житлових будинків, що забезпечують умови комфортності і безпеки в приміщенні: за найменшим, за найбільшим і, одночасно, за найменшим і найбільшим значенням властивості, які відповідають заданому рівню забезпеченості норм. Визначено умови функціональної придатності конструкцій та інженерних систем для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни, екологічності.

Завдання визначення параметричної надійності конструкцій або будівлі з того чи іншого властивості зводиться до отримання функції щільності розподілу випадкового процесу. Отримати функцію щільності розподілу випадкового процесу в явному вигляді найчастіше не представляється можливим, тому запропоновано визначати параметричну надійність конструкцій або будівлі після закінчення певного часу їх експлуатації, тобто визначати її для фіксованих моментів часу, або, інакше, давати, так звану, точкову оцінку надійності. У цьому випадку завдання визначення надійності зводиться до отримання функції розподілу випадкових величин в перерізі випадкового процесу в заданий момент часу.

Функції, що описують функціональні властивості конструкцій, інженерних систем, будівлі в загальному випадку не виражаються в явному вигляді. Крім того, функції властивостей конструкцій та інженерних систем є не тільки нелінійними, але кусочно-гладкими функціями, тобто мають різні аналітичні вирази на ділянках, тому отримати в аналітичному вигляді розкладання функції в ряд Тейлора для лінеаризації функції не представляється можливим. З метою використання методу лінеаризації для визначення розподілів функцій властивостей при відомих розподілах визначальних параметрів (аргументів) функцій запропоновано замінити часткові похідні функції властивості їх кінцево-різницевою формою або використовувати центрально-різницеві апроксимації часткових похідних першого і другого порядку, що еквівалентно використанню апроксимації функцій інтерполяційними поліномами. Так як величина похибки наближення функції залежить від величини кроку варіювання аргументів функції, то за доцільне обирати довжину відрізка, обмежену ймовірністю значень аргументів 0,99865. Похибка апроксимації функції многочленом Тейлора зростає у кінця відрізка і зменшується до середини відрізка. Похибка інтерполяційного многочлена більш рівномірно розподілена на відрізку і виявляється на всьому відрізку менше, ніж у многочлена Тейлора. Апроксимації функції інтерполяційним многочленом дозволяє зменшити як загальну похибка нелінійної функції, так і врахувати можливість перебування функції на різних ділянках. Якщо

відомі перші чотири моменти розподілу функції в перерізі випадкового процесу, тоді можливо підібрати апроксимуючий розподіл функції з сімейства розподілів Джонсона, або з класу розподілів Пірсона. Разом з регламентованими показниками граничних значень властивостей при відомих розподілах функцій властивостей можливо визначити параметричну надійність конструкцій, інженерних систем, будівлі в певний момент часу.

Методи оцінки вартості життєвого циклу заглиблених житлових будівель, що включає витрати на зведення, експлуатацію та ліквідацію (знесення) з урахуванням дисконтування доцільно розробляти на основі міжнародних стандартів ЮНІДО. Застосовуються три методи для врахування витрат життєвого циклу житлових будинків: метод розрахунку чистої поточної вартості (ЧДС) (NPV - net present value); метод розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV); метод розрахунку загальної річної вартості (aggregate annual value - AAV).

Математична модель задачі оптимізації конструкцій заглиблених житлових будівель формулюється як задача нелінійного математичного програмування: мінімізувати сукупну дисконтовану річну вартість життєвого циклу будівлі, що включає витрати на матеріали, на виконання робіт і витрати на опалення будівлі. Обмеженнями задачі є: тривалість опалювального періоду; вартість теплової енергії; мінімальний опір теплопередачі, регламентований нормами; термін експлуатації будівлі; процентна ставка на капітал. Раціональний варіант залежить від кліматичних умов району будівництва, що характеризуються тривалістю опалювального періоду, теплотехнічних характеристик матеріалів, що становлять огорожувальні конструкції, їх ціни, вартості виконання робіт, розрахункового періоду експлуатації будівлі, тарифів на енергоносії і відсоткової ставки на капітал.

На основі аналізу зарубіжного досвіду та існуючої нормативної бази України запропонована система екологічної сертифікації об'єктів будівництва, зокрема, заглиблених житлових будівель на відповідність критеріям сталого розвитку. Для оцінки надійності розміщення заглиблених житлових будівель в ґрунті необхідно удосконалювати методи оцінки напружено-деформованого стану конструкцій заглиблених житлових будівель, що взаємодіють з ґрунтовим масивом.

Для цього вирішувалися завдання щодо визначення розмірів області моделювання ґрунтового масиву, форма кінцевих елементів і їх розміри, моделювання контактної зони конструкцій заглибленого будівлі і ґрунтового масиву, граничних умов, врахування нелінійності деформування залізобетонних конструкцій. На основі отриманих результатів визначення напружено-деформованого стану системи

«навантаження - ґрунт», «конструкція - ґрунт» сформульовані основні положення розрахунку для моделювання задач взаємодії системи «заглиблена будівля - ґрунтовий масив» для забезпечення вимог безпеки.

Аналіз результатів розрахунку заглибленої будівлі з застосуванням методу загального статичного розрахунку системи «споруда - ґрунтовий масив» свідчить про те, що на характер спільної роботи системи впливає жорсткість самої споруди, яка залежить від товщини зовнішніх і внутрішніх стін, а також від кроку поперечних діафрагм. Раціональний варіант конструктивного рішення заглибленого будівлі, в кожному окремому випадку, необхідно визначати за критерієм мінімуму сукупної вартості арматури і арматурних робіт, бетону та бетонних робіт. Техніко-економічне порівняння конструктивних варіантів заглибленої будівлі з габаритними розмірами: довжина 24 м, ширина 14 і висота 3 м свідчить, що вибір найбільш раціонального варіанту дозволяє економити 20% вартості зведення будівлі.

В загальному випадку заглиблені житлові будівлі складаються зі збірно-монолітних композитних конструкцій з комплексними перерізами. Сформульовано передумови і фізичні співвідношення для оцінки напружено-деформованого стану стрижневих композитних елементів з комплексними перерізами на основі модельних уявлень і рівнянь механічного стану матеріалів (деформаційна модель). Запропоновано чисельно-аналітичний метод для обчислення зусиль, які сприймаються стислою зоною комплексних перетинів композитних конструкцій, в якому використовується заміна підінтегральної функції на характерних ділянках (з різними фізико-механічними характеристиками матеріалів, різною шириною перетину) апроксимуючим поліномом Ньютона. При цьому стає можливим отримати аналітичні вирази для значень інтегралів за якими обчислюються зусилля в стислій зоні.

Для отримання нерозривного рішення оцінки зусилля, що сприймається бетоном розтягнутої зони до-, в момент-, і після утворення тріщин розроблено метод інтегральної оцінки зусиль.

Розроблено метод, що дозволяє з єдиних позицій на всіх стадіях роботи оцінювати напружено-деформований стан композитних елементів конструкцій з комплексними перерізами, оцінювати несучу здатність, деформативність і тріщиностійкість конструкцій заглиблених будівель.

Процес руйнування комплексних перерізів, нормальних до поздовжньої осі композитних конструкцій, моделюється з використанням критерію максимуму функції рівноважних станів (нульової відірності) для всього перерізу в цілому, або текучості або обмеження величини деформацій поздовжньої розтягнутої арматури.

На основі положень теорії надійності розроблена методика нормування міцності кам'яної кладки, як композитного матеріалу, з урахуванням

статистичних характеристик міцності складових елементів кладки - каменів і розчину. Запропоновано залежності для визначення нормативних та розрахункових характеристик міцності кладки, що відповідають загальному підходу до призначення і контролю фізико-механічних характеристик конструкційних матеріалів, прийнятому в методі розрахунку будівельних конструкцій за граничними станами.

Для оцінки енергоефективності заглиблених будівель проведено експериментальні дослідження теплофізичних характеристик ґрунтів (піску, супіску, глини та суглинку) при їх різній щільності, вологості і в мерзлому стані. За розробленою методикою проведено експериментальні дослідження теплопровідності різних типів. Отримані аналітичні залежності можна використовувати при теплотехнічних розрахунках заглиблених житлових будівель.

Для визначення енергоефективності заглиблених житлових будівель їх теплові втрати порівнювалися з тепловими втратами аналогічних наземних будівель. Істотне зниження теплових втрат відбувається лише при заглибленні будівлі до певної позначки. Подальше заглиблення енергетичного ефекту не приносить. Разом з цим збільшуються обсяги земляних робіт. Тому важливо визначити оптимальну ступінь заглиблення будівлі, яка буде давати максимальний економічний ефект.

З використанням загального підходу, розроблених і удосконалених методів проектування заглиблених житлових будівель виконано проектування і розпочалося будівництво першого в Україні заглибленого житлового будинку «EGG» з урахуванням зовнішніх впливів. Отримано дані за вартістю зведення, експлуатації та ліквідації заглиблених будівель.

Результати досліджень показують, що розроблені конструкції екологічних заглиблених будівель відповідають критеріям доступного житла за показниками вартості етапів життєвого циклу конструкцій.

Згідно з розробленою національною системою екологічної сертифікації об'єктів будівництва [11] проведена оцінка екологічних показників проекту заглибленого житлового будинку, який реалізується при будівництві в с. Єгорине, Царичанського району, Дніпропетровської області. Результати показують, що найвищий бал має критерій «вибір території» (99%). Всі інші критерії оцінюються, приблизно, однаковими балами (70...85%).

## ВИСНОВКИ

1. Заглиблені житлові будівлі є новим інноваційним типом житла, яке вписується в навколишнє середовище і безпечно з нею взаємодіє, створює можливість гармонізації з навколишнім ландшафтом. Такі будівлі більш пристосовані до екстремальних впливів (військових дій, стихійних

лих - пожеж, землетрусів, ураганному вітрі, торнадо і т.п.), що характеризуються підвищеною живучістю в порівнянні з наземними будівлями.

2. У заглиблених житлових будівель знижені витрати на ремонт і зовнішніх огорожувальних конструкцій в порівнянні з традиційними типами житла, так як у них незначні площі відкритих фасадних поверхонь.

3. Заглиблені житлові будівлі характеризуються високою енергоефективністю за рахунок термоізоляційних властивостей ґрунту і стабільного теплового режиму в ґрунті.

4. Заглиблені житлові будівлі відповідають вимогам безпеки, функціональності, санітарної гігієни, економічності, екологічності та відповідають критеріям сталого розвитку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005. – [Чинні від 2006-01-01]. – Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 36 с. – (Будівельні норми України).
2. Шилин А. А. Освоение подземного пространства (зарождение и развитие): учеб. пособие для вузов / Шилин А. А. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2005. – 305 с.
3. Ивахнюк В. А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений / Ивахнюк В. А. – М.: АСВ, 1999. – 150 с.
4. Крогиус В. Р. Градостроительство на склонах / Крогиус В. Р.; под ред. В.Р. Крогиуса. – М.: Стройиздат, 1988. – 328 с.
5. Туманян П. П. Опыт застройки на крутых склонах / П.П. Туманян // Жилищное строительство. – 1979. – № 11. – С. 12-16.
6. Трегубова М. К. Защищенные землей общественные здания и сооружения / М. К. Трегубова, Л. В. Курганская. – М.: ЦНТИ, 1986. – 44 с.
7. Стерлинг Р. Проектирование заглубленных жилищ / Стерлинг Р.; пер. с англ. Р. Стерлинг, Дж. Кармоди, Т. Эллисон и др. – М.: Стройиздат, 1983. – 192 с.
8. Гусев А.С. Проектирование и строительство заглубленных гражданских зданий / Гусев А.С.; пер. с англ. А.С. Гусева, А.П. Ромася. – М.: Стройиздат, 1986. – 252 с.
9. Тетиор А. Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений / А. Н. Тетиор, В. Ф. Логинов. – К.: Будивельник, 1990. – 168 с.
10. Никифорова Т. Д. Научные основы и методы расчета конструкций заглубленных зданий с учетом внешних воздействий : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.23.01 / Никифорова Татьяна Дмитриевна; ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. – Днепропетровск., 2016. – 346 с. – Библиогр.: С.296-336.

11. Стандарт підприємства СТП ДВНЗ ПДАБтаА 01.01:2014. Екологічні вимоги до об'єктів нерухомості. Оцінка відповідності. Дніпропетровськ: ДВНЗ ПДАБтаА, 2014. – 30 с.

## REFERENCES

1. DBN V.2.2-15-2005. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia. [State Building Codes V.2.2-15-2005. Residential buildings. Fundamental regulations]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy z budivnytstva ta arkhitektury Publ., 2005. 36 p.
2. Shilin A. A. Osvoenie podzemnogo prostranstva (zarozhdenie i razvitie). [The use of underground space (emergence and development)]. Moscow, Moscow State Mining University Publ., 2005. 305 p.
3. Ivahnyuk V. A. Stroitel'stvo i proektirovanie podzemnyh i zaglublennyh sooruzhenij. [The construction and design of underground and earth sheltered buildings]. Moscow, ASV Publ., 1999. 150 p.
4. Krogius V. R. Gradostroitel'stvo na sklonah. [Town planning on the slopes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 328 p.
5. Tumanyan P. P. Opyt zastrojki na krutyh sklonah [Experience building on the steep slopes]. ZHilishchnoe stroitel'stvo – Housing construction, 1979, no. 11, pp. 12-16.
6. Tregubova M. K. Kurganskaya L. V. Zashchishchennye zemlej obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya [The protected earth public buildings and structures]. Moscow, CNTI Publ., 1986. 44 p.
7. Sterling R, Dzh. Karmodi, T. Ehillison. Proektirovanie zaglublennyh zhilishch [Design of earth sheltered dwelling]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 192 p.
8. Gusev A. S., Romas' A. P. Proektirovanie i stroitel'stvo zaglublennyh grazhdanskih zdaniy [Design and construction of earth sheltered civil buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 252 p.
9. Tetior A. N., Loginov V. F Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnyh zdaniy i sooruzhenij [Design and construction of underground buildings and structures]. Kiev, Budivel'nyk Publ., 1990. 168 p.
10. Nikiforova T.D. Nauchnye osnovy i metody rascheta konstrukcij zaglublennyh zdaniy s uchetom vneshnih vozdeystvij Dokt. Diss. [Scientific bases and methods of calculation of structures of earth sheltered buildings taking into account external influences. Doct. Diss.]. – Dnipropetrovs'k., 2016. – 346 p.
11. СТП ДВНЗ ПДАБтаА 01.01:2014. Екологічні вимоги до об'єктів нерухомості. Оцінка відповідності. [Standard of enterprise SHEE PSACEA 01.01:2014. Environmental requirements for real estate. Conformity assessment]. Dnipropetrovs'k, DVNZ PДАBтаА Publ., 2014. 30 p.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2016 р.