

УДК 624.04:69.07

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ, ПОЛОЖЕННЯ І ПРИНЦИПИ ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЗАГЛИБЛЕНИХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

НІКІФОРОВА Т. Д.<sup>1\*</sup>, к.т.н., доцент,  
САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>2</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [manchich@i.ua](mailto:manchich@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

**Анотація.** У статті представлені загальні методологічні підходи, положення і принципи проектування конструкцій заглиблених житлових будівель. **Мета.** Розробка наукових основ розрахунку конструкцій заглиблених житлових будівель з урахуванням зовнішніх впливів і забезпечення параметрів безпеки та комфортності при мінімізації витрат протягом життєвого циклу будівель. **Методика.** Запропоновано загальну схему вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, мікроклімату приміщень для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності заглиблених житлових будівель. **Результати.** Розроблена загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, мікроклімату приміщень для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності заглиблених житлових будівель. Запропоновано методи оцінки вартості життєвого циклу заглиблених житлових будівель, що включають витрати на зведення, експлуатацію та ліквідацію (знесення) будівлі з урахуванням дисконтування. Для раціонального проектування конструкцій заглиблених житлових будівель сформульована математична модель в формі задачі нелінійного математичного програмування: мінімізувати сукупну дисконтовану річну вартість життєвого циклу будівлі. Запропонована система екологічної сертифікації заглиблених житлових будівель на відповідність критеріям сталого розвитку. **Наукова новизна.** Вперше розроблено загальний методологічний підхід, основні положення і принципи розрахунку і проектування конструкцій заглиблених житлових будівель з урахуванням зовнішніх впливів. **Практична значимість.** Можливість створення раціональних конструктивних рішень заглиблених будівель і способів їх розміщення у навколишньому природному середовищі при виконанні вимог надійності, комфортності та екологічної безпеки з урахуванням мінімізації витрат життєвого циклу.

**Ключові слова:** заглиблені житлові будівлі, життєвий цикл, надійність, відмова конструкцій, комфортність, раціональне проектування, економічна ефективність, екологічна оцінка

## ОБЩИЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

НИКИФОРОВА Т. Д.<sup>1\*</sup>, к.т.н., доцент,  
САВИЦКИЙ Н. В.<sup>2</sup>, д.т.н., проф.

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: [manchich@i.ua](mailto:manchich@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>2</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

**Аннотация.** В статье представлены общие методологические подходы, положения и принципы проектирования конструкций заглубленных жилых зданий. **Цель.** Разработка научных основ расчета конструкций заглубленных жилых зданий с учетом внешних воздействий и обеспечения параметров безопасности и комфортности при минимизации затрат в течение жизненного цикла зданий. **Методика.** Предложена общая схема требований и ограничений, предъявляемых к характеристикам несущих и ограждающих конструкций, инженерных систем микроклимата помещений для удовлетворения параметров безопасности, функциональности, санитарной гигиены (комфортности), экономичности и экологичности заглубленных жилых зданий. **Результаты.** Разработана общая схема требований и ограничений, предъявляемых к характеристикам несущих и ограждающих конструкций, инженерных систем микроклимата помещений для удовлетворения параметров безопасности, функциональности, санитарной гигиены (комфортности), экономичности и экологичности заглубленных жилых зданий. Предложены методы оценки стоимости жизненного цикла заглубленных жилых зданий, включающих расходы на строительство, эксплуатацию и ликвидацию (снос) здания с учетом дисконтирования. Для рационального проектирования конструкций заглубленных жилых зданий сформулирована математическая модель в форме

задачи нелинейного математического программирования: минимизировать совокупную дисконтированную годовую стоимость жизненного цикла здания. Предложена система экологической сертификации заглубленных жилых зданий на соответствие критериям устойчивого развития. **Научная новизна.** Впервые разработан общий методологический подход, основные положения и принципы расчета и проектирования конструкций заглубленных жилых зданий с учетом внешних воздействий. **Практическая значимость.** Возможность создания рациональных конструктивных решений заглубленных зданий и способов их размещения в окружающей среде при выполнении требований надежности, комфортности и экологической безопасности с учетом минимизации затрат жизненного цикла.

**Ключевые слова:** заглубленные жилые здания, жизненный цикл, надежность, отказ конструкций, комфортность, рациональное проектирование, экономическая эффективность, экологическая оценка

## GENERAL METHODOLOGICAL APPROACHES, PROVISIONS AND PRINCIPLES OF STRUCTURAL DESIGN EARTH SHELTERED DWELLING-HOUSE

NIKIFOROVA T. D.<sup>1\*</sup>, Ph. D,  
SAVYTSKYI M. V.<sup>2</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, e-mail: [manchich@i.ua](mailto:manchich@i.ua), ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

<sup>2</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

**Annotation.** The article presents general methodological approaches, provisions and principles of structural design of earth sheltered buildings. **Purpose.** Development of scientific basis of calculation of structures of earth sheltered buildings taking into account external influences and requirements of reliability and comfort and minimization of life cycle costs. **Methods.** There is proposed the general scheme of requirements and restrictions imposed on the characteristics of bearing and enclosing structures, engineering systems, microclimate facilities aimed to meet the safety parameters, functionality, health care (comfort), economic and environmental efficiency of earth sheltered buildings. **Results.** There is developed general scheme requirements and restrictions imposed on the characteristics of bearing and protecting structures, systems engineering, microclimate facilities to meet the safety parameters, functionality, health care (comfort), economic and environmental efficiency earth sheltered buildings. The methods of assessment of lifecycle of earth sheltered buildings, including the costs of construction, operation and utilization (demolition) of building based on discounting are proposed. For the rational design of structures of earth sheltered buildings a mathematical model is formulated in the form of nonlinear mathematical programming problem: to minimize total discounted value of the annual life cycle of the building. The system of environmental certification of earth sheltered buildings for compliance with the criteria of sustainable development is proposed. **Scientific novelty.** There are first time developed a common methodological approach, the main provisions and principles of calculation and design of structures of earth sheltered buildings taking into account external influences. **Practical value.** Possibility to create rational solutions of earth sheltered dwelling houses and methods of their placement in the environment, which satisfy the requirements of reliability, comfort and environmental safety considering minimization of life cycle costs.

**Keywords:** earth sheltered buildings, life cycle, reliability, failure of constructions, comfort, rational design, economic efficiency, ecological evaluation

### Вступ

Соціальні, економічні, екологічні складові стійкого (збалансованого) розвитку суспільства вимагають розглядати будівлі з урахуванням їх повного життєвого циклу. Світові тенденції архітектурно-будівельного проектування будівель і споруд свідчать про необхідність урахування критеріїв стійкого розвитку, які передбачають мінімізацію витрат матеріальних і енергетичних ресурсів упродовж усього життєвого циклу будівлі: зведення, експлуатації та утилізації.

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 історико – природних заповідників; зростаюча інтенсивність природних і техногенних катастроф, військових дій; вичерпання енергоресурсів вимагають створення других 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.

Діючі норми України з проектування житлових будинків не дозволяють розміщувати житлові приміщення нижче рівня земної поверхні [1]. Однак успішний закордонний досвід будівництва

заглиблених житлових будівель свідчить про можливість проектування і будівництва аналогічних будівель в Україні в залежності від фізико-географічного районування території України при виконанні вимог безпеки, функціональності, комфортності, економічності та екологічності.

Сьогодні у всьому світі проектування і будівництво заглиблених житлових будівель розвивається швидкими темпами. На рис. 1 наведені окремі приклади будівництва заглиблених житлових будівель в різних країнах.

Виконаний інформаційний пошук показав, що основною тенденцією ХХІ століття буде освоєння підземного простору в наслідок перенаселеності великих міст і необхідності пошуку і створення нового середовища існування людей.

Аналіз публікацій і наукових робіт провідних вчених різних наукових шкіл України, Європи, Росії показав про недостатню вивченість питань забезпечення безпеки, комфортності, енергоефективності щодо заглиблених будівель [2-9].

У зв'язку з цим виникає необхідність в дослідженнях з розміщення, розроблення об'ємно-планувальних і конструктивних рішень заглиблених

будівель, з урахуванням умов фізико-географічного районування території України при виконанні вимог безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності і екологічності.

### Мета

Розробка наукових основ розрахунку конструкцій заглиблених житлових будівель з урахуванням зовнішніх впливів і забезпечення параметрів безпеки та комфортності при мінімізації витрат протягом життєвого циклу будівель.

### Методика

Запропоновано загальну схему вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, мікроклімату приміщень для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності заглиблених житлових будівель з урахуванням мінімізації витрат протягом життєвого циклу будівель.



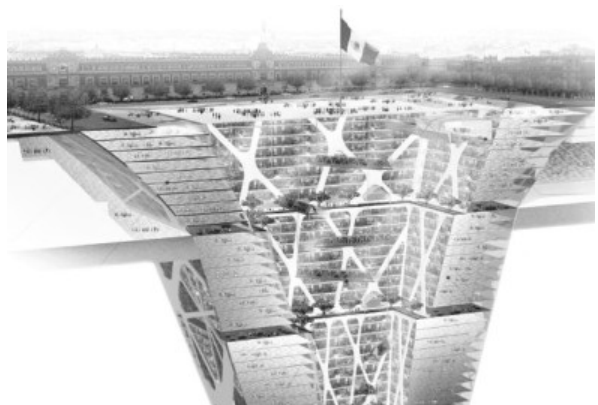
a



b



c



d

Рис. 1. Заглиблені житлові будівлі в різних країнах / Earth sheltered dwelling-house in different countries:

- a – заглиблений житловий будинок «Guldumann», Швейцарія / earth sheltered dwelling-house «Guldumann», Switzerland;  
 b – малоповерховий житловий будинок, заглиблений в пагорб, Нідерланди / low-storey earth sheltered dwelling-house buried in the hill, Netherlands;  
 c – підземний готель-хмарочос «Інтерконтиненталь Шиман Шанхай Вандерленд», Китай / underground skyscraper hotel «Intercontinental Shimao Shanghai Wonderland», China;  
 d – проект підземного хмарочосу «Землескреб», Мексика / underground skyscraper project «Earthscraper», Mexico

### Основний матеріал і результати

Основна вимога, що пред'являється до будівлі – функціональне призначення. Цій вимозі повинне підкорятися як об'ємно-планувальне, так і конструктивне рішення.

Функціональне призначення житлової будівлі визначає вимоги до освітленості, температури, звукоізоляції, вентиляції, опалювання, водо- і газопостачання, каналізації, побутовому устаткуванню, теле- і радіофікації, до оздоблення приміщень і благоустрою будівлі та ін.

Не менш важливими в заглибленій будівлі являються вимоги забезпечення надійності окремих конструкцій і будівлі в цілому.

Естетичні вимоги до будівлі пов'язані з поняттям краси в архітектурі або архітектурній виразності.

Нарешті, однією з найважливіших вимог є економічність будівництва і екологічність.

Для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності заглиблених житлових будівель розроблена загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, мікроклімату приміщень (рис. 2).

Безпека і комфортність перебування людей в заглиблених житлових будівлях забезпечується несучими конструкціями, огорожувальними конструкціями та інженерними системами будівлі.

Властивості конструкцій, інженерних систем, будівлі в цілому є випадковими функціями характеристик матеріалів, зовнішніх впливів і часу (1).

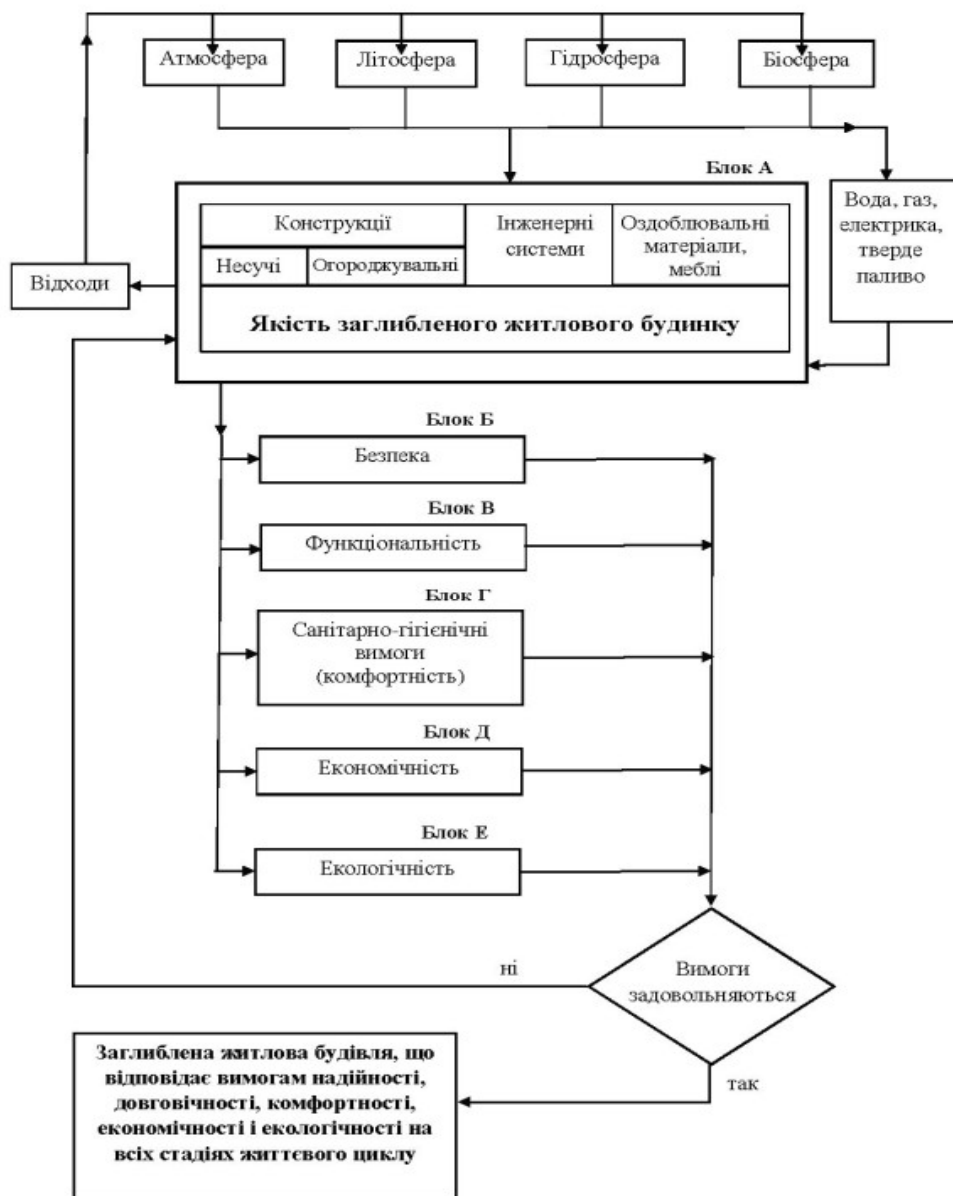


Рис. 2. Загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до заглиблених житлових будівель /  
The general scheme requirements and restrictions imposed on the earth sheltered dwelling-house

$$\begin{cases} Y_1(t) = Y_1[X_{11}, X_{21}, \dots, X_{i1}, \dots, X_{p1}(Z_{11}, Z_{21}, \dots, Z_{l1}, t), \dots, X_{m1}] \\ Y_2(t) = Y_2[X_{12}, X_{22}, \dots, X_{i2}, \dots, X_{p2}(Z_{12}, Z_{22}, \dots, Z_{l2}, t), \dots, X_{m2}] \\ \dots \\ Y_j(t) = Y_j[X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{pj}(Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{lj}, t), \dots, X_{mj}] \\ \dots \\ Y_n(t) = Y_n[X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{in}, \dots, X_{pn}(Z_{1n}, Z_{2n}, \dots, Z_{ln}, t), \dots, X_{mn}] \end{cases}, \quad (1)$$

де  $Y_j$  – властивість конструкцій, інженерних систем, будівлі;

$x_{ij}$  – розрахункові параметри конструкцій;

$z_{ij}$  – характеристики матеріалів і зовнішніх впливів;

$t$  – час.

Умови функціональної придатності конструкцій та інженерних систем будівлі задаються у вигляді системи обмежень. Використовується три основних види нормування функцій властивостей (фізико-технічних характеристик) конструкцій або інженерних систем житлового будинку, що забезпечують умови комфортності і безпеки в приміщенні: за найменшим (2), за найбільшим (3) і одночасно за найменшим і найбільшим (4) значенням властивостей, які відповідають заданому рівню забезпеченості норм.

$$\begin{cases} Y_1(t) \geq S_1(t) \\ Y_2(t) \geq S_2(t) \\ \dots \\ Y_j(t) \geq S_j(t) \\ \dots \\ Y_n(t) \geq S_n(t) \end{cases}, \quad (2) \quad \begin{cases} Y_1(t) \leq S_1(t) \\ Y_2(t) \leq S_2(t) \\ \dots \\ Y_j(t) \leq S_j(t) \\ \dots \\ Y_n(t) \leq S_n(t) \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} S_{1,bot}(t) \leq Y_1(t) \leq S_{1,top}(t) \\ S_{2,bot}(t) \leq Y_2(t) \leq S_{2,top}(t) \\ \dots \\ S_{j,bot}(t) \leq Y_j(t) \leq S_{j,top}(t) \\ \dots \\ S_{n,bot}(t) \leq Y_n(t) \leq S_{n,top}(t) \end{cases}, \quad (4)$$

де в нерівностях (2)...(4):

$Y_j$  - властивість конструкцій, будівлі, інженерних систем;

$S_j(t)$  – граничне значення властивості, що регламентується нормами проектування або величиною зовнішніх впливів;

$S_{j,bot}(t)$  – нижнє граничне значення властивості, що регламентується нормами проектування або величиною зовнішніх впливів;

$S_{j,top}(t)$  – верхнє граничне значення властивості, що регламентується нормами проектування або величиною зовнішніх впливів.

Нормування за найменшим значенням встановлено для наступних характеристик конструкцій і будівлі:

несуча здатність; опір теплопередачі огорожувальних конструкцій; температура внутрішньої поверхні конструкцій; опір повітропроникності; опір паропроникності; індекс ізоляції повітряного шуму; коефіцієнт природного освітлення приміщення; тривалість інсоляції приміщення.

Нормування за найбільшим значенням: гранична ширина розкриття тріщин; деформація конструкції; питоме енергоспоживання будівлі; перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції; амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції; показник теплосвоясності поверхні підлоги; індекс приведенного рівня ударного шуму; приріст розрахункового масового відношення вологи в матеріалі за період вологонакопичення; масове відношення вологи в матеріалі; повітропроникність огорожувальної конструкції; коефіцієнт теплопропускання сонцезахисного пристрою; зміст вуглекислого газу в приміщенні; зміст радону в приміщенні (еквівалентна рівноважна об'ємна активність); швидкість руху повітря в приміщенні.

Нормування одночасно за найменшим і найбільшим значеннями: відносна вологість внутрішнього повітря житлових приміщень в зимовий час; температура внутрішнього повітря; парціальний тиск водяної пари повітря; геометрична точність конструкцій; надійність конструкцій або інженерних систем відносно параметричних відмов заглибленої житлової будівлі.

Невиконання нерівностей (2)...(4) означає виникнення відмов несучих конструкцій, будівлі або інженерних систем або середовища (мікроклімату) житла за зазначеними функціональними властивостями або характеристиками. Ці обмеження виділяють область безвідмовної роботи. Тоді надійність конструкцій, будівлі або інженерних систем щодо параметричних відмов заглибленої будівлі (тут маються на увазі вихідні, функціональні параметри або властивості конструкцій або будівлі) виражається ймовірністю задоволення нерівностей:

$$\begin{cases} P_1(t) = P[Y_1(t) \geq S_1(t)] = P[Y_1(t) - S_1(t) \geq 0] \\ P_2(t) = P[Y_2(t) \geq S_2(t)] = P[Y_2(t) - S_2(t) \geq 0] \\ \dots \\ P_j(t) = P[Y_j(t) \geq S_j(t)] = P[Y_j(t) - S_j(t) \geq 0] \\ \dots \\ P_n(t) = P[Y_n(t) \geq S_n(t)] = P[Y_n(t) - S_n(t) \geq 0] \end{cases}, \quad (5)$$

де  $P_j(t)$  – надійність конструкцій, будівлі або інженерних систем.

Таким чином, завдання визначення параметричної надійності конструкцій або будівлі за зазначеними функціональними властивостями або характеристиками зводиться до отримання  $m$ -мірної функції щільності розподілу випадкового процесу. Імовірність безвідмовної роботи визначається як

m-мірний інтеграл від згаданої функції щільності розподілу:

$$P_j(t) = \iint_{Y_j(t)-S_j(t) \geq 0} \dots \int f(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{lj}, \dots, x_{mj}, t) \cdot dx_{1j} dx_{2j} \dots dz_{1j} dz_{2j} \dots dz_{lj} \dots dx_{mj} \quad (6)$$

Термін служби визначається тривалістю експлуатації конструкції або будівлі до виходу їх властивостей за допустимі межі.

Отримати функцію (6) в явному вигляді, частіше за все, не представляється можливим, так як неможливо виконати зворотне перетворення щодо часу залежностей властивостей конструкцій або будівлі. Тому досить визначити параметричну надійність конструкцій або будівлі після закінчення певного часу їх експлуатації, тобто визначити для фіксованих моментів часу, або, інакше, дати так звану точкову оцінку надійності [10]. У цьому випадку завдання зводиться до отримання m-мірної функції розподілу випадкових величин  $f(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{lj}, \dots, z_{mj})$  в перерізі випадкового процесу в заданий момент часу і обчисленню виразу:

$$P_j(t = t_k) = \iint_{Y_j(t=t_k)-S_j(t=t_k) \geq 0} \dots \int f(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{ij}, \dots, z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{lj}, \dots, x_{mj}, t) \cdot dx_{1j} dx_{2j} \dots dz_{1j} dz_{2j} \dots dz_{lj} \dots dx_{mj} \quad (7)$$

Якщо відомі щільності розподілу властивостей конструкцій або будівлі  $f(Y_j)_{t=t_k}$  і величини зовнішніх впливів  $f(S_j)_{t=t_k}$ , то вираз для визначення ймовірності безвідмовної роботи (за умови, що властивості конструкцій або будівлі та зовнішні впливи незалежні) має вигляд [11]:

$$P_j(t = t_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(S_j) \left[ \int_S^{\infty} f(Y_j) dy_j \right] dS_j. \quad (8)$$

При відсутності статистичних даних про зовнішні дії або детермінованих величин граничних значень властивостей:

$$P_j(t = t_k) = P\{Y_j \geq S_{j,u}\} = \int_{S_{j,u}}^{+\infty} f(Y_j) dy_j, \quad (9)$$

де  $S_{j,u}$  – зусилля від максимально можливих (розрахункових) навантажень на конструкції, що задаються на стадії проектування при розгляді надійності за міцністю; зусилля від характеристичних навантажень при розгляді надійності за тріщиностійкістю; допустимий прогин при розрахунку надійності за деформаціями; допустима ширина розкриття тріщин при розрахунку надійності за тріщиностійкістю; мінімально допустимий опір теплопередачі огорожувальних

конструкцій; максимально допустимий перепад температур на поверхні огорожувальних конструкцій; максимально допустиме питома теплоспоживання; мінімально допустиме значення повітрообміну; максимально допустима швидкість руху повітря всередині приміщення; мінімально і максимально допустима вологість в приміщенні; максимально допустима концентрація вуглекислого газу в приміщенні; максимально допустима концентрація радону в приміщенні; мінімальне значення коефіцієнта природної освітленості в приміщенні.

Конструкція або будівля задовольняють вимогам надійності за  $j$ -ою властивістю якщо виконується умова:

$$P_j(t) \geq R_{j,u}, \quad (10)$$

де  $R_{j,u}$  – нормований рівень надійності  $j$ -ої властивості.

На рис. 3 приведена загальна схема формування відмови конструкцій або будівлі в умовах впливу зовнішнього середовища при нормуванні найменшого (рис. 3 а) і найбільшого (рис. 3 б) граничного значення властивості.

Відмова виникає при досягненні  $Y_j$ -ої властивості конструкції або будівлі граничного значення  $S_j$ , що станеться через деякий випадковий проміжок часу експлуатації. На схемі показані основні етапи формування закону розподілу  $p(t)$ . Спочатку має місце розсіювання властивості щодо свого математичного очікування, це пов'язано з мінливістю фізико-механічних характеристик матеріалів, геометричних і силових (величина попереднього напруження) параметрів конструкцій або будівлі, інженерних систем, що залежать від технології культури виробництва. Даний розподіл може характеризувати "початкову" надійність конструкцій або будівлі.

Вплив зовнішнього середовища призводить до зміни деяких параметрів конструкцій, будівлі, інженерних систем, що визначають властивість. В результаті відбувається формування закону розподілу  $p(t)$ , який визначає ймовірність виходу параметра  $Y_j$  за межу  $S_j$ , тобто ймовірність відмови  $F(t) = 1 - P(t)$  або безвідмовної роботи  $P(t)$ .

Середній термін служби конструкцій  $\bar{T}$  визначається часом досягнення математичного очікування властивості граничного значення. Якщо регламентована ймовірність безвідмовної роботи, то відповідне значення терміну служби є гамма-відсотковим ресурсом -  $T_\gamma$ .

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-різницевої апроксимації часткових похідних першого і другого порядку, що еквівалентно використанню апроксимації функцій інтерполяційними поліномами.

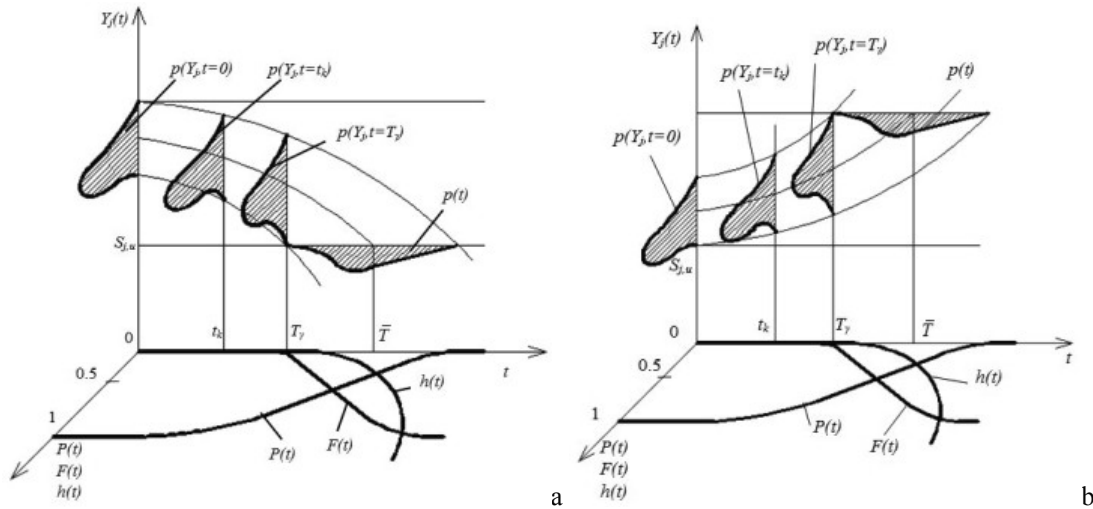


Рис. 3. Загальна схема формування відмови конструкцій, інженерних систем або будівлі при нормуванні за найменшим (а) і найбільшим (б) значенням / The general scheme of formation failure of structures, systems engineering or building at least for the normalization (a) and largest (b) value:

$P(t)$  – функція надійності / reliability function;  $F(t)$  – функція вірогідності відмови / function of the probability of failure;  $h(t)$  – інтенсивність відмов / failure rate;  $Y_j(t)$  – функція  $j$ -ої властивості / function of  $j$ -s properties;  $S_{j,u}$  – граничне значення функції властивості / limit value function properties;  $p(Y_j, t)$  – щільність розподілу властивостей конструкцій / density properties of structures;  $p(t)$  – щільність розподілу вірогідності безвідмовної роботи / probability density of uptime;  $T_\gamma$  – гамма-процентний термін служби (ресурс) / gamma-percent lifetime (resource);  $\bar{T}$  – середній термін служби / average lifetime

Характеристики наближень функції многочленом Тейлора і інтерполяційним многочленом детально викладені в роботі [12]. Так як величина похибки наближення залежить від величини кроку (чим більше крок тим більше похибка), то доцільно обирати довжину відрізка  $[\bar{x}_i - h(x_i), \bar{x}_i + h(x_i)]$ , обмежену ймовірністю значень аргументів 0,9987, в разі нормального закону розподілу крок варіювання аргументу  $h(x_i) = 3\sigma(x_i)$ .

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. Апроксимація функції інтерполяційним многочленом дозволяє зменшити як загальну похибку 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.

На рис. 4 приведена апроксимація функції однієї змінної перерахованими лінійними поліномами.

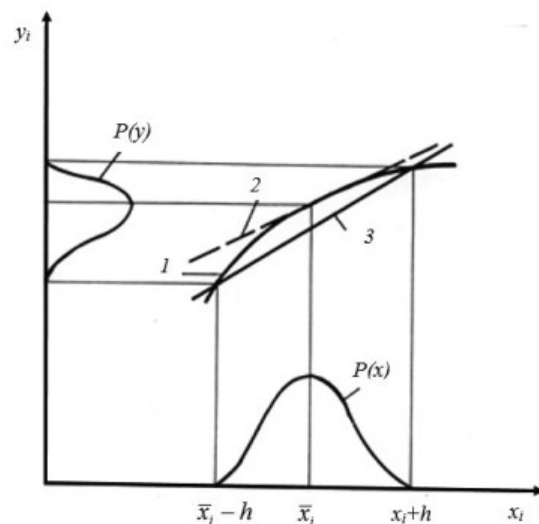


Рис. 4. Схема апроксимації функції різними многочленами / Driving function approximation different polynomials:

1 - графік вихідної функції / the graph of the original function; 2 - графік функції Тейлора / Taylor graph functions; 3 - графік інтерполяційного полінома / the graph of the polynomial interpolation

Залежності, що описують властивості конструкцій, є не тільки нелінійними, а й кусочно-гладкими функціями, тобто мають різні аналітичні вирази на ділянках.

Апроксимації функції інтерполяційним многочленом, так само як і лінійна методом найменших квадратів, дозволяє зменшити як загальну похибку 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 апроксимуючі розподілу з сімейства розподілів Джонсона, або з класу розподілів Пірсону.

На основі міжнародних стандартів організації об'єднаних націй з промислового розвитку (ЮНІДО) запропоновані методи оцінки вартості життєвого циклу заглиблених житлових будівель, що включають витрати на зведення, експлуатацію та ліквідацію (знесення) з урахуванням дисконтування. Застосовуються три методи для врахування витрат життєвого циклу житлових будинків: метод розрахунку чистої поточної вартості (ЧПВ) (NPV - net present value) (11); метод розрахунку сукупної вартості (сукупних витрат, загальних витрат) (aggregate value - AV) (12); метод розрахунку загальної річної вартості (aggregate annual value - AAV) (13).

$$C_{i,0} = K_{i,0} + \frac{E_i}{pg^t} + \frac{K_i(\tau=t)}{pg^t}, \quad (11)$$

$$C_{i,t} = K_{i,0}g^t + E_i \frac{g^t - 1}{g - 1} + K_i(\tau=t), \quad (12)$$

$$C_{i,\tau} = K_{i,0} \frac{g-1}{g^t-1} g^t + E_i + K_i(\tau=t) \frac{g-1}{g^t-1} g^t, \quad (13)$$

де в залежностях (11)...(13):

$C_{i,0}$  - чиста поточна вартість життєвого циклу будівлі по  $i$ -му варіанту, приведена до початкового періоду експлуатації;

$C_{i,t}$  - сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та ліквідацію будівлі;

$C_{i,\tau}$  - сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та ліквідацію будівлі;

$K_{i,0}$  - капітальні вкладення (інвестиції) на будівництво будівлі по  $i$ -му варіанту;

$E_i$  - річні експлуатаційні витрати на утримання будівлі при  $i$ -ому варіанті;

$t$  - термін служби (експлуатації) будівлі, рік;

$p$  - норма дисконту;

$K_i(\tau=t)$  - капітальні витрати на ліквідацію (знесення) будівлі по  $i$ -му варіанту.

$g$  - коефіцієнт накопичення:  $g=1+p$ ;

$g^t$  - коефіцієнт дисконтування (дисконтний множник) до кінця розрахункового періоду:  $g^t = (1+p)^t$ ;

$(g^t-1)/(g-1)$  - коефіцієнт зростання поточних платежів, приведених до майбутнього моменту часу для ряду однорідних за періодами платежів.

Найбільш популярний метод оцінки ефективності інвестицій в умовах ринкової економіки - метод чистої дисконтованої (поточної) вартості (NPV) становить найбільший інтерес для інвестора капіталу. При порівняльній оцінці методом NPV основним показником є первісна вартість будівництва або капітальні вкладення і менш істотним показником - рівень витрат на експлуатацію будівлі. Ці витрати, пов'язані з майбутнім, мають порівняно невелике значення, оскільки їх частка у вартості в даний час порівняно невелика.

Метод розрахунку сукупної (дисконтованої) вартості (сукупних витрат, загальних витрат - AV) полягає в перетворенні всіх витрат на будівництво, витрат на експлуатацію житлового будинку за весь передбачуваний термін його служби та витрат на ліквідацію будівлі в розрахункову суму на рік очікуваного знесення будівлі (так звані накопичені витрати). Цей метод представляє найбільший інтерес для домовласників, оскільки при його використанні в належній мірі враховується як рівень витрат на експлуатацію за термін служби будівлі, так і первісна вартість будівництва.

При виведенні рівняння (12) для визначення сукупної вартості (тобто капітальних витрат і експлуатаційних витрат) за розрахунковий період виходять із припущення, що капітальні витрати одноразові, а річні експлуатаційні витрати протягом усього розрахункового терміну постійні. Обидва припущення в більшості випадків відповідають дійсності. У цьому методі всі витрати, вироблені постійно в окремі роки протягом терміну служби будівлі приводяться до їх майбутнього значення на розрахунковий момент терміну служби будівлі. Для цього використовують для капітальних витрат процентний річний приріст  $g^t = (1+p)^t$ , а для річних експлуатаційних витрат накопичення  $(g^t-1)/(g-1)$ , перетворені в форму підсумку витрат в кінці кожного року.

Суть методу розрахунку загальної річної вартості (AAV) полягає в тому, що як одноразові витрати на будівництво і утилізацію, так і майбутні витрати на експлуатацію і ремонт протягом розрахункового терміну перетворюються в середньорічні витрати.

Таким чином, на основі запропонованих методів оцінки вартості життєвого циклу заглиблених житлових будівель можливо їх раціональне проектування з урахуванням мінімізації витрат упродовж усього життєвого циклу будівлі: зведення, експлуатації та ліквідації.

Для раціонального проектування конструкцій заглиблених житлових будівель сформульована математична модель в формі задачі нелінійного математичного програмування: мінімізувати сукупну дисконтовану річну вартість життєвого циклу будівлі, що включає витрати на матеріали і виконання робіт при будівництві, витрати на опалення будівлі, витрати на поточний ремонт та ліквідацію після закінчення терміну експлуатації будівлі [13]. Обмеженнями задачі є: тривалість



опалювального періоду; вартість 1 Гкал теплової енергії; мінімальний опір теплопередачі ( $R_{q,min}$ ), регламентований нормами; термін експлуатації будівлі; процентна ставка на капітал. Рациональний варіант залежить від: кліматичних умов району будівництва, що характеризуються тривалістю опалювального періоду; теплотехнічних характеристик матеріалів огорожувальних конструкцій та теплофізичних характеристик ґрунту; цін на будівельні матеріали; вартості виконання робіт; розрахункового періоду експлуатації будівлі; тарифів на енергоносії і норми дисконту 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.

Екологічність заглиблених житлових будинків визначається сукупністю критеріїв: 1. Інноваційний менеджмент; 2. Вибір ділянки; 3. Ефективне використання природних ресурсів; 4. Інтеграційна архітектура; 5. Матеріали і конструкції; 6. Організація внутрішнього простору; 7. Експлуатаційні відходи; 8. Енергетична ефективність; 9. Економічна ефективність; 10. Соціокультурна організація.

Оцінку відповідності заглиблених житлових будівель мінімальним екологічним вимогам виконують методом прямого зіставлення показників проекту або готового будинку з нормативами. Методи оцінки ступеня забезпечення екологічних вимог будівлі, що передбачають досягнення рекомендованих показників і мінімальних екологічних вимог, повинні відповідати чинним державним нормам і стандартам.

Відповідно до нормативних вимог за кожним критерієм виставляється бал, який потім підсумовується. Отримана в результаті сума множиться на 100% і ділиться на максимально можливий загальний бал для даного критерію. Загальні бали за критеріями сумують і складають сумарний бал для даного об'єкта (заглибленого житлового будинку), що виражається у відсотках.

За результатами екологічної сертифікації присвоюється один з чотирьох видів сертифікатів екологічної якості об'єкта нерухомості відповідно до розробленої національною системою оцінки екологічних показників [14].

### Наукова новизна і практичне значення

Вперше розроблено загальний методологічний підхід, основні положення і принципи розрахунку і проектування конструкцій заглиблених житлових будівель з урахуванням зовнішніх впливів, на основі яких можливе створення раціональних конструктивних рішень заглиблених будівель і способів їх розміщення у навколишньому природному середовищі при виконанні вимог надійності, комфортності та екологічної безпеки з урахуванням мінімізації витрат життєвого циклу.

### Висновки

1. Розроблена загальна схема вимог і обмежень, що пред'являються до характеристик несучих і огорожувальних конструкцій, інженерних систем, мікроклімату приміщень для задоволення параметрів безпеки, функціональності, санітарної гігієни (комфортності), економічності та екологічності заглиблених житлових будівель.

2. На основі міжнародних стандартів ЮНІДО запропоновані методи оцінки вартості життєвого циклу заглиблених житлових будівель, що включають витрати на зведення, експлуатацію та ліквідацію (знесення) будівлі з урахуванням дисконтування.

3. Для раціонального проектування конструкцій заглиблених житлових будівель сформульована математична модель в формі задачі нелінійного математичного програмування: мінімізувати сукупну дисконтовану річну вартість життєвого циклу будівлі.

4. Запропонована система екологічної сертифікації заглиблених житлових будівель на відповідність критеріям сталого розвитку.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Державні будівельні норми України ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. Основні положення. – Надано чинності 2006-01-01. – Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 36 с.
2. Шилин, А. А. Освоение подземного пространства (зарождение и развитие): учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2005. – 305 с.
3. Ивахнюк, В. А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений. – М.: АСВ, 1999. – 150 с.
4. Крогиус, В. Р. Градостроительство на склонах / 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 / 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 / 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.: Будивэльнык, 1990. – 168 с.
10. Капур, К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 450 с.
11. Бессонов, А. А. Надежность систем автоматического регулирования / А. А. Бессонов, А. В. Мороз. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
12. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. / В. А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 236 с.
13. 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.
14. 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 zastroyki na krutyyh 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. *Zashchishchennyye zemlej obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya* [The protected earth public buildings and structures]. Moscow, CNTI Publ., 1986. 44 p.
7. Sterling R, Dzh. Karmodi, T. EHllison. *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 grazhdanskikh 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, Budivehl'nyk Publ., 1990. 168 p.
10. Kapur K., Lamberson L. *Nadezhnost' i proektirovanie sistem* [Reliability and designing of systems]. Moscow, Mir Publ., 1980. 450 p.
11. Bessonov A. A., Moroz A. V. *Nadezhnost' sistem avtomaticheskogo regulirovaniya* [The reliability of automatic control systems]. Leningrad, EHnergoatomizdat Publ., 1984. 208 p.
12. Voznesenskij V. A. *Statisticheskie metody planirovaniya ehksperimenta v tekhniko-ehkonomicheskikh issledovaniyakh* [Statistical methods experiment planning in the technical and economic studies]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1981. 236 p.
13. 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.
14. *STP DVNZ PDABtaA 01.01:2014. Ekologichni vymohy do ob'ektiv nerukhomosti. Otsinka vidpovidnosti*. [Standard of enterprise SHEE PSACEA 01.01:2014. Environmental requirements for real estate. Conformity assessment]. Dnipropetrovs'k, DVNZ PDABtaA Publ., 2014. 30 p.

Поступила в редколегію 26.08.2016