

[Ontologies and thesaurus. The course of the 16 presentations]. Available at: <http://download.yandex.ru/class/solovyev/plan.pdf/>
11. Golenkov, V. V., Geliakina, N. A., Grakova, N. V., Gubarevich, A. V. (2014). Vnutrennee predstavlenie znaniy v

sistemah, upravlyaemyih znaniyami [The internal representation of knowledge in management knowledge systems]. Kyiv: Prosvita, 51–56.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Чертов О. Р.
Дата надходження рукопису 17.08.2015*

Сирота Сергій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра прикладної математики. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: ergiy.syrot@gmail.com

Ліскін Вячеслав Олегович, аспірант, кафедра прикладної математики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

УДК 69:002;72.025;721

DOI: 10.15587/2313-8416.2015. 50233

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАДАЧІ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

© О. О. Терентьєв

Данна стаття висвітлює питання, що пов'язані з побудовою математичних моделей системи діагностики технічного стану конструкцій будівель. Використовуючи апарат нечіткої логіки, можна побудувати модель інтелектуального прийняття рішення системи управління технічного стану конструкцій будівель. Отримані рекомендації дозволяють визначати витрати на експлуатацію будівель за рахунок обліку істотних невизначеностей, характерних для типу об'єктів

Ключові слова: математичні моделі, система підтримки прийняття рішень, обстеження і оцінка

This article covers issues related to the construction of mathematical models of the system of diagnostics of a technical condition of building constructions. Using the fuzzy logic, we can construct a model of intelligent decision making system control of technical condition of building constructions. The recommendations allow determining the operating costs of buildings by taking into account the substantial uncertainties that are specific to the object type

Keywords: mathematical models, system of decision support, survey and evaluation

1. Вступ

Збільшення обсягів будівництва на сучасному етапі вимагає підвищення ефективності прийняття рішень.

Сучасні рішення повинні прийматися з урахуванням експлуатаційних характеристик будівель, споруд і виробів, які засновані на вимогах користувачів. Застосування інформаційної системи підтримки прийняття рішень сприяє підвищенню рівня проведення проектних робіт.

Застосування інформаційних технологій до вирішення цих задач дозволяє проводити ці роботи на якісно новому рівні. Це досягається за рахунок застосування розвинутих інтерактивних засобів взаємодії, підтримки користувачів різного рівня підготовки, формування багатовіконних макетів екранів, структур меню, діалогових послідовностей. Інформа-

ція може отримуватись від різних джерел і досліджуватися на різних рівнях деталізації.

Збільшення потужності системи може бути забезпечено за рахунок застосування відкритої архітектури і можливості масштабування системи з підключенням як власних так і зовнішніх застосувань, організації модульності прикладних програм, гнучкої підтримки необхідної конфігурації, підтримки відкритих стандартів.

Підвищити точність формування дій, що управляється можливо при спільному використанні накопиченої інформації, результатів поточного контролю і моніторингу стану будівельних конструкцій, а також результатів експертного висновку щодо ефективності заходів щодо забезпечення довговічності будівельних конструкцій і будівель в цілому. Узагальнення різномірної інформації і отримання склад-

них логічних висновків можливо на основі застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

2. Мета і завдання дослідження

Обґрунтована мета і дослідження розробки моделей інтелектуального прийняття рішень системи управління технічного стану будівельних конструкцій будівель на основі використання математичного апарату нечіткої логіки. За допомогою запропонованого підходу знижується рівень невизначеності експлуатаційних дій на конструкції будівель для забезпечення їх необхідної довговічності. Окрім цього, формуються передумови автоматизації складної логічної обробки експериментальних і експертних даних. Критерієм прийняття рішення по вибору адекватного заходу для забезпечення необхідного ресурсу конструкції будівель виступає кінцевий висновок про фактичний технічний стан і можливостях забезпечення її довговічності.

3. Аналіз літературних даних

Значний внесок у окремі аспекти зазначеного напрямку внесли вітчизняні та закордонні вчені: Вейц Р. В., Калінін В. М., Клименко Є. В., Михайленко В. М., Панкевич О. Д., Терентьев О. О., Штовба С. Д.

Всі актуальні роботи пов'язані з тематикою основ організації і обробки експериментальних результатів роботи експертних систем діагностики технічного стану будівель, а також роботи, пов'язані з розробкою інформаційної технології оцінки технічного стану конструкцій будівель та регламентуються положенням «Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд» [1].

Даний підхід може знайти практичне застосування в організаціях, що здійснюють підтримку працездатності стану будівель.

4. Методика розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель

Розглянемо модель прийняття рішення системи управління технічного стану конструкцій і будівель в цілому [2].

Припустимо, що стан конструкції будівлі характеризує один параметр (показник властивості). Позначимо його через x . Припустимо, що параметр стану x конструкції доступний для спостереження і виміру інструментальними та експертними методами.

Припустимо, що для параметра x встановлена множина його станів, які складають вектор $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Нехай заходи щодо дії на досліджену конструкцію є вектор $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. Кожному із станів $x_i (i=1(1)n)$ повинно бути зіставлені одно або декілька можливих дій $y_j, y_j \in Y (j=1(1)m)$. Відповідність технічного стану конструкції заходам $y_j (j=1(1)m)$ має бути задане деяким правилом P . На рис. 1. встановлені експертні правила відповідності дій на конструкцію за її технічним станом [3].

Таким чином, можна сформувати множину керованих дій $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$, до складу якого входять елементи структури вибору конкретної дії при зафіксованому в ході контролю стані x_f конструкції. Рішення системи управління $u_i (i=1(1)n)$ повинні формуватися системою підтримки прийняття рішень експертами. Припустимо, що невідомість ситуації управління характеризується вектором $\Omega = (W_1, W_2)$ умов невизначеності. Умова W_1 характеризує невизначеність відповідності кожного $u_i (i=1(1)K)$ конкретному стану x через обмеженість початкових даних для опису зміни стану конструкції в умовах експлуатації будівлі і його реакції на можливі дії. Умова W_2 характеризує невизначеність визначення фактичного стану x_f параметру x при виконанні інструментального або експертного контролю конструкції при моніторингу технічного стану будівлі експертами.

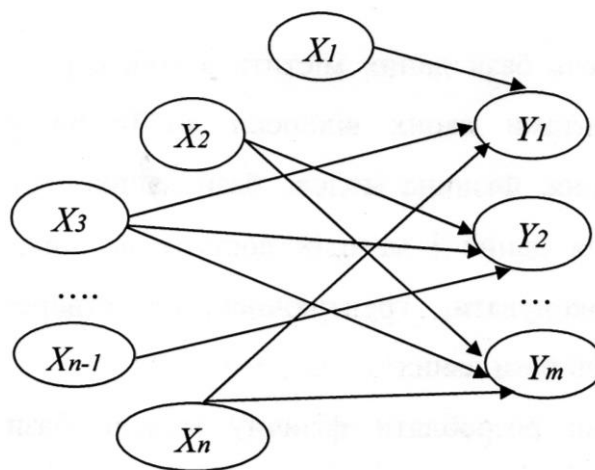


Рис. 1. Експертні правила відповідності дій на конструкцію за технічним станом

Врахуємо невизначеність типу W_1 введенням нечіткого опису технічного стану конструкції будівлі за допомогою лінгвістичної змінної \check{X} .

Згідно виразу 1:

$$\check{X} = \{X, \mu_x\}, \quad (1)$$

де μ_x – функція приналежності лінгвістичної змінної \check{X} .

У співвідношенні з виразом (1) пропонується відповідність P знанням, що визначаються продукційними правилами типу «ЯКЩО ..., ТО». Таким чином, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень системи управління технічного стану конструкції представляє собою операцію імплікації:

$$u^* : (\check{x} \rightarrow \check{y}) / P. \quad (2)$$

Розглянемо ситуацію, що пов'язана з фактором W_2 . Припустимо, що через особливості системи контролю, отримати точну кількісну оцінку x_f поточного стану конструкції немає можливості. При цьому результат контролю q_f конструкції представ-

ляє собою одиз із термів q множини Q термів значення контрольованого параметру. Наприклад, якщо нечітке значення \dot{X} контрольованого параметру x має значення «високий», то терми q вказаного значення можуть мати вигляд «помірно високий», «порівняно високий», «не дуже високий», «дуже високий». В цьому випадку параметр x конструкції може бути оцінений за непрямими ознаками, наприклад, у вигляді: «значення параметру досить високе», при цьому вказується рівень приналежності результату контролю до одного з термів. Тому для кожного терма q лінгвістичної змінної x необхідно за результатами ретроспективної інформації побудувати функцію приналежності (ФП). При зроблених допущеннях, модель прийняття рішення, згідно використання заходу y_f системи управління технічного стану конструкції будівлі можна представити таким чином:

$$u^*(y_f) = W(q_f, P, y_f, w_1, w_2), \quad (3)$$

де P – правило відповідності дії y_f фактичному стану q_f конструкції з урахуванням невизначеності двох типів.

В цьому випадку результат оцінки z_f технічного стану конструкції по контрольованому параметру x з урахуванням двох видів невизначеності є результатом перетину двох функцій приналежності – ФП параметра x_f , що характеризує продукційне правило (вираз 2) і ФП результату q_f поточного контролю технічного стану конструкції.

Максимальне значення отриманого в ході цього об'єднання ФП нечіткої змінної z_f буде представляти собою значення підсумкової ФП оцінки фактичного стану конструкції.

Цей висновок представлений співвідношенням:

$$\mu(\dot{z}_f) = \text{heigt}(\dot{g}_f \sqcap \dot{x}_f) = \sup \min(\mu(\dot{g}_f), \mu(\dot{x}_f)). \quad (4)$$

Значення показника, що представлено у виразі (4), будемо називати a – рівнем результату \dot{z}_f контролю стану конструкції. Після цього у відповідності з продукційним правилом (вираз 2) і управлінням u^* необхідно визначити вигляд керованої дії y_f на конструкцію по параметру x . Управління u^* для будівельної конструкції повинно відповідати фактичному стану x_f конструкції будівлі, що досліджена.

Послідовність дій щодо прийняття рішення стосовно технічного стану конструкції і будівель в цілому, що характеризується параметром x , представлена на рис. 2.

Таким чином, отримання рішення системи управління технічного стану конструкції, використовуються методи штучного інтелекту, тому система яка реалізує цю процедуру може бути віднесена до класу інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [4].

Надалі розглянемо розрахунковий приклад, що характеризує представлення розробленої методики [5].

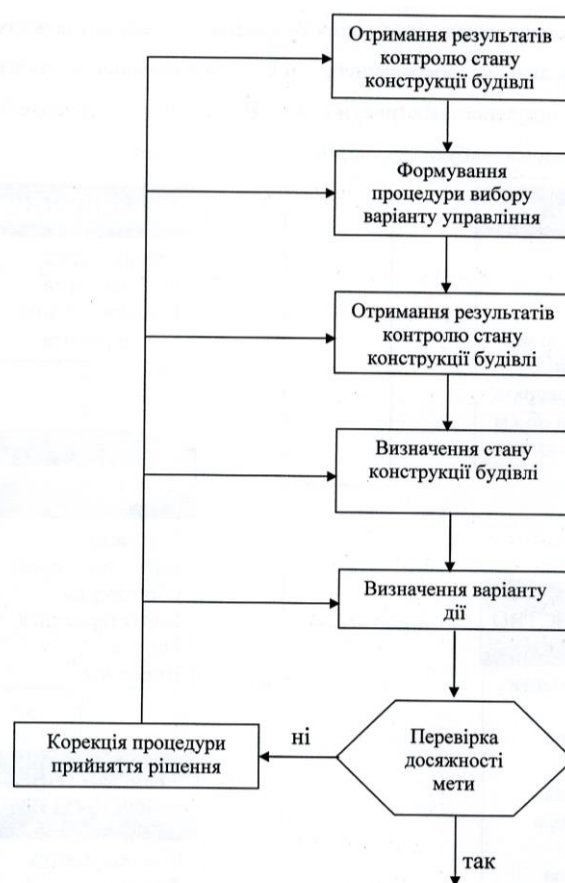


Рис. 2. Етапи підготовки прийняття рішення системи управління технічного стану конструкцій і будівель в цілому

5. Розрахунковий приклад інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель

Постановка задачі. Ця будівля є прикладом зношення правил експлуатації, що виражається в несвоєчасному захисті стіни будівлі від зволоженості та викликане пошкодженням покрівлі (рис. 3.) [6, 7].



Рис. 3. Фрагмент пошкодженої стіни будівлі

Параметром x її стану являється залишковий ресурс надійності в роках експлуатації. До множин дій відносяться зміцнення конструкції, розбирання частини стіни будівлі, знос будівлі. Передбачається, що за результатами аналізу ретроспективної інфор-

мації, передбачені границі зміни параметру x , які знаходяться в межах інтервалу $\{0,4\}$ років. При цьому експерт описує даний параметр як лінгвістичну зміну «залишковий ресурс».

Для числового опису даного параметру використовується дзвонкоподібна функція приналежності з показниками $b=2,2$ роки і $c=0,4$.

Експертне виведення припускає для нечіткої величини дію, яка має дзвонкоподібну функцію приналежності з параметрами $b=100$ і $c=50$. Рівень дій в даному випадку може визначатися вартістю заходів, наприклад, в долях відсотків від вартості повної заміни конструкції.

Тоді значення нечіткої змінної, що характеризує системи управління технічного стану конструкції, може мати границі зміни $\{0;100\}$.

Особливості системи контролю конструкції будівлі не дозволяють отримати точне значення параметру x . Поточне значення параметру конструкції оцінюється експертно за непрямими ознаками. Для кожного з можливих станів конструкції вводяться терми q , що мають вигляд: «залишковий ресурс дуже низький», «залишковий ресурс низький», «залишковий ресурс задовільний». Для кожного з вказаних термів експертним способом визначена на основі ретроспективної інформації відповідна ФП. При дослідженні поточного стану стіни, експерти отримали висновок, що $q_f = 1,8$ роки, де q_f – оцінка значення залишкового ресурсу конструкції. Для розрахунків використовуються припущення, що терму «залишковий ресурс низький» відповідає дзвонкоподібна ФП з наступними показниками: координата максимального значення ФП рівна 1,8 року; коефіцієнт концентрації дорівнює 0,1.

Необхідно.

Підготувати обґрунтований варіант рішення щодо інтелектуального управління технічного стану конструкції (пошкодженої стіни будівлі).

Рішення задачі.

Розглянемо два варіанти постановки завдання.

Перший варіант завдання полягає в тому, що результат q_f контролю конструкції розглядається як чітке число. Прийняття рішення для цього результату приведене на графіку (рис. 4). Синя стрілка показує спосіб реалізації продукційного правила P для даного результату контролю.

Ідея здійснення процедури інтелектуального вибору рішення, представлена на графіку (рис. 5).

Червона стрілка на графіку (рис. 5) визначає дію, яка експертно встановлена прийнятним рівнем витрат, що здійснена на управління при зафіксованому поточному стані конструкції.

Цей стан виражений чітким значенням q_f параметру, рівним 1,8 року.

Розглянемо другий варіант рішення задачі.

Параметр стану стіни представляє собою нечітку величину з декількома термами. Як і в першому прикладі, зміна параметра x «залишковий ресурс» знаходиться в межах інтервалу $\{0; 4\}$ роки. Проте тепер результат q_f оцінювання технічного стану конструкції характеризується термом «залишковий ресурс низький», що має відповідну ФП. Цей результат представлений на рис. 6.

Отримаємо тепер оцінку z_f на основі реалізації правила перетину двох нечітких великих кількостей відповідно до виразу (4). Дана дія відображена на (рис. 7).

Значення ФП результату контролю, представляють собою мінімальне значення для двох даних ФП при одних і тих же числових значеннях параметру стану конструкції. Підсумкова ФП на рис. 8., вигляд залежності, що представлено на графіку червоним кольором. Максимальне значення цієї підсумкової ФП відповідає рівню a . Для вибору дії, початкова ФП (рис. 6.) відсікається на рівні a . Підсумкова ФП інтелектуального рішення представлена на рис. 9 (графік зеленого кольору).

Для визначення чіткого аргументу можна скористатися методом «центру тяжіння». В даному випадку, точка «А» на (рис. 7, 8) відповідає «центру тяжіння» ФП прийнятого рішення. Синя стрілка, початок якої знаходиться в «центрі тяжіння», визначає доцільне рішення системи управління технічного стану конструкції. Порівняння ФП отримуваних рішень для двох варіантів (рис. 5, 8) показує, що зниження рівня визначеності контролю стану приводить до підвищення ціни необхідних дій. Це відповідає реальній ситуації експертного оцінювання стану конструкції, коли знижується впевненість експерта у формулюванні виводу при «розмиванні» умов отримання експертного висновку і він вважає за краще «підстрахуватися», вибираючи найбільш ефективніший спосіб впливу на конструкцію, яка являється при цьому найбільш дорожчим.

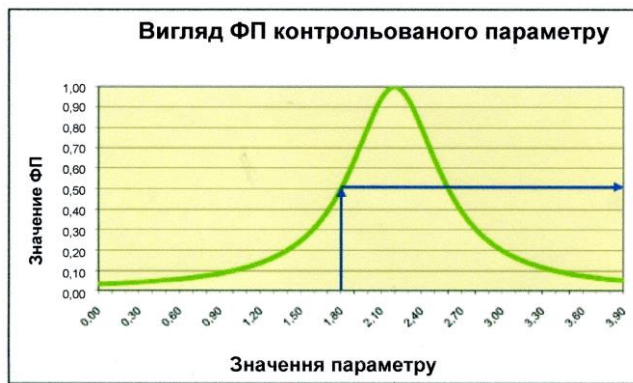


Рис. 4. Вид ФП для значення параметру стану «залишковий ресурс»



Рис. 5. Вид ФП для можливих дій

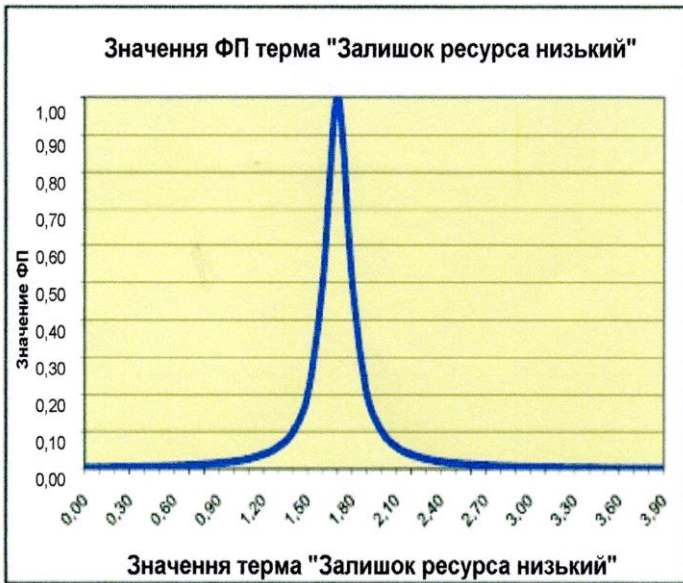


Рис. 6. Вигляд ФП для значення q_f терма «Залишковий ресурс низький»

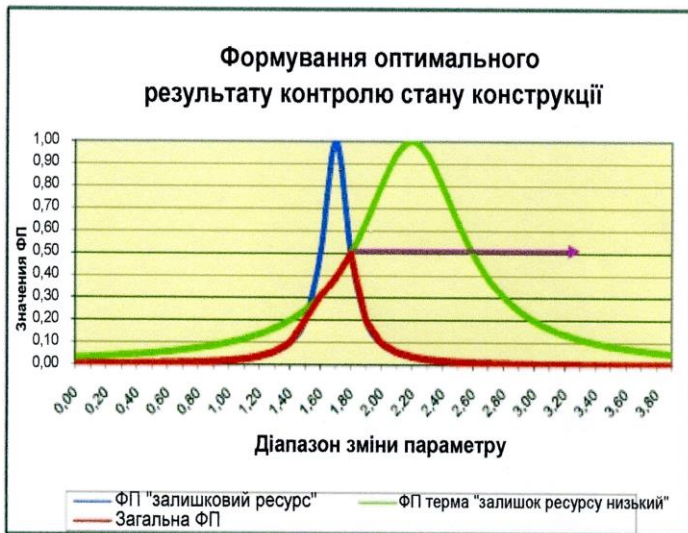


Рис. 7. Вигляд ФП для оцінки стану конструкції при нечіткому контролі



Рис. 8. Вигляд підсумкової ФП для прийняття рішення системи управління технічного стану конструкції при нечіткому контролі

6. Результати розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень діагностики технічного стану конструкцій будівель

Використовуючи апарат нечіткої логіки, можна побудувати модель інтелектуального прийняття рішення системи управління технічного стану конструкцій будівель. Основними елементами моделі є описи нечіткого продукційного виведення і нечіткого контролю стану конструкції будівлі при формуванні яких використовуються інструментальні засоби і знання експертів. Отримані при моделюванні рекомендації дозволяють точніше визначати витрати на експлуатацію будівель за рахунок обліку істотних невизначеностей, характерних для такого типу об'єктів.

Аналіз робіт, що присвячений управлінню системи управління технічного стану конструкцій будівель показав, що в даних методах і моделях не повною мірою враховується невизначеність результатів поточного контролю фактичного стану конструкцій і прийняття рішення, що обумовлено рядом об'єктивних факторів, включаючи обмеженість наявної ретроспективної інформації. Виходом являється вдосконалення систем підтримки прийняття рішень в напрямі узагальнення знань і досвіду експертів за результатами інструментального і візуального контролю конструкцій будівель.

7. Висновки

Обґрунтована актуальність розробки моделей інтелектуального прийняття рішень системи управління технічного стану конструкцій будівель на основі використання математичного апарату нечіткої логіки. За допомогою запропонованого підходу знижується рівень невизначеності при визначенні експлуатаційних дій на конструкції будівель для забезпечення їх необхідної довговічності. Окрім цього, формуються передумови автоматизації складної логічної обробки експериментальних і експертних даних. Критерієм прийняття рішення по вибору адекватного заходу для забезпечення необхідного ресурсу конструкції будівель виступає кінцевий висновок про фактичний технічний стан конструкції будівель і можливість забезпечення її довговічності.

Література

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд [Текст]. – Київ, 2003. – 144 с.
2. Калинин, В. М. Оценка технического состояния зданий [Текст] / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – М.: ИНФРА, 2006. – 268 с.
3. Клименко, С. В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд [Текст] / С. В. Клименко. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 304 с.
4. Михайленко, В. М. Інформаційна технологія оцінки технічного стану елементів будівельних конструкцій із застосуванням нечітких моделей [Текст]: сб. науч. трудов / О. О. Терентьев,

Б. М. Єременко; под ред. В. И. Большакова. – Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2013. – № 70. – С. 133–141.

5. Михайленко, В. М. Обробка експериментальних результатів роботи експертної системи для задачі діагностики технічного стану будівель [Текст]: сб. науч. трудов / О. О. Терентьев, Б. М. Єременко; под ред. В. И. Большакова. – Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2014. – № 78. – С. 190–195.

6. Терентьев, О. О. Основи організації нечіткого виведення для задачі діагностики технічного стану будівель та споруд [Текст]: зб. наук. праць / О. О. Терентьев, Є. Є. Шабала, Б. С. Малина. – Управління розвитком складних систем, збірник наукових праць. – 2015. – № 22. – С. 138–143.

7. Terentyev, O. The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition [Text] / O. Terentyev, M. Tsiutsiura // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2015. – Vol. 4, Issue 7. – P. 827–829.

References

1. Normativni dokumenti z pitan' obstezhen', pasportizacii, bezpechnoi ta nadijnoi eksploatacii virobnicnih budivel' i sporud (2003). Kyiv, 144.

2. Kalinin, V. M., Sokova, S. D. (2006). Ocenka tehničeskogo sostojanija zdanij. Moscow: INFRA, 268.

3. Klimentko, E. V. (2004). Tehnična eksploatacija ta rekonstrukcija budivel' i sporud. Kyiv: Centr navchal'noi literaturi, 304.

4. Mihajlenko, V. M., Eremenko, B. M.; V. I. Bol'shakova (Ed.) (2013). Informacijna tehnologija ocinki tehničnogo stanu elementiv budivel'nih konstrukcij iz zastosuvannjam nečitkih modelej. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie, 70, 133–141.

5. Mihajlenko, V. M., Eremenko, B. M.; Bol'shakova, V. I. (Ed.) (2014). Obrobka eksperimental'nih rezul'tativ roboti ekspertnoi sistemi dlja zadachi diagnostiki tehničnogo stanu budivel'. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie, 78, 190–195.

6. Terent'ev, O. O., Shabala, E. E., Malina, B. S. (2015). Osnovi organizacii nečitkogo vivedennja dlja zadachi diagnostiki tehničnogo stanu budivel' ta sporud. Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem, zbirnik naukovih prac', 22, 138–143.

7. Terentyev, O., Tsiutsiura, M. (2015). The Method of Direct Grading and the Generalized Method of Assessment of Buildings Technical Condition. International Journal of Science and Research (IJSR), 4 (7), 827–829.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Михайленко В. М.
Дата надходження рукопису 07.09.2015*

Терентьев Александр Александрович, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, Завідувач сектором дослідження діагностики технічного стану будівель і споруд, Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» Мінрегіону України, пр. Червонозоряний, 51, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: teren79@rambler.ru