

Визначення динамічних характеристик складних просторових конструкцій в частотно-часовому просторі проектів біосферосумісного будівництва

Денис Чернишев¹, Максим Дружинін², Ганна Шпакова³

^{1,2,3}Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹denis01011978@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1946-9242

²0631962117m@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1821-1968

³Shpakova.a@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2124-0815

DOI:10.32347/2522-4182.4.2019.21-27

Анотація. Стаття присвячена пошуку передових аналітичних засобів і методико-алгоритмічних прийомів організаційно-технологічної та стохастичної оцінки, подолання ризиків та загроз при реалізації проектів біосферосумісного будівництва. Обґрунтована доцільність застосування теорії та методів вейвлет-аналізу при дослідженні нестационарних стохастичних коливань складних просторових конструкцій, зумовлена потребою більш точного прогнозування їхньої динамічної поведінки та ідентифікації характеристик конструкцій в частотно-часовому просторі.

Ключові слова: wavelet-аналіз, стохастична оцінка, невизначеність середовища, будівельний проект, біосферосумісність будівництва.

Вступ. В країнах Євросоюзу набуває поступового розвитку інноваційні будівельні програми та проекти забудови міських районів на принципах «біосферного сумісництва». Ключовими стратегічними детермінантами таких програм та проектів визначено:

- організація будівництва на принципово інноваційних засадах, що в пріоритеті спрямовані на формування безпечної (та сприятливої до саморозвитку) життєдіяльності людини;
- забезпечення балансу біо-, техно-, соціо-сфер урбанізованих територій;
- успішне залучення влади, інституційних учасників, будівельних організацій та цільових споживачів до організації циклу «започаткування-інвестування-будівництва-експлуатації» об'єктів будівництва, що комфортно імлементуються до існуючої екосистеми території забудови (параметри якої в умовах Євросоюзу є об'єктом підвищеної уваги).

В Німеччині та Японії претендент (забудовник), що подав на тендер пропозицію, яка включає будівельно-технологічне рішення з



Денис Чернишев

Перший проректор, професор кафедри водопостачання та водовідведення д.т.н., доц.



Максим Дружинін

доцент кафедри будівництва та інформаційних технологій ІНО к.т.н.,



Ганна Шпакова

доцент кафедри будівельних технологій к.т.н., доцент

дотриманням вимог «біосферної сумісності», одержує суттєву перевагу поряд з іншими конкурентами. В цих країнах біосферна сумісність за пріоритетами випереджає навіть критерій «прибутковості/раціональності кошторисних витрат».

В нашій країні до теперішнього часу відсутні як практика таких преференцій, так і дієві механізми посилення мотивації учасників будівництва до залучення принципів біосферної сумісності при розробці архітектурно-будівельних рішень. Дана тенденція формує суперечливі вимоги і критерії оцінки проектів щодо створення нових продуктів та сервісів. У таких умовах особливої актуальності набувають інноваційні механізми управління будівельними проектами та програмами, які базуються на модернізації інвестиційно-будівельного циклу та системи організації

будівництва на принципах біосферної сумісності.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження впливу численних і різноманітних випадкових параметрів виробничих факторів на процес зведення будинків можливо тільки на основі застосування ймовірно-стохастичних методів і відповідних моделей. Вплив випадкових факторів, що дестабілізують провадження робіт, проявляється в зміні параметрів часу від детермінованих значень, відхиленні інтенсивності виробництва будівельно-монтажних робіт. До випадкових факторів можна віднести кліматичні, соціальні, технічні й ін. групи, які, як правило, проявляються не кожний окремо, а в сукупності. Облік впливу всіх випадкових факторів на виробництво будівельно-монтажних робіт дозволяє усунути причини відмов і підвищити надійність взаємозалежних будівельних процесів.

Разом з тим на сьогодні залишаються недостатньо дослідженими базові положення управління організаційно-технологічною надійністю як найбільш критичного показника для цих проектів. Дослідженням цього напрямку присвячені роботи С.Д. Бушуєва [1], А.Ю. Гайди [2], Д.С. Нечипуренко [3], В.О. Поколенко [4] та інших науковців. У роботах зазначених авторів формалізовано процеси планування вартості проектів, але питання зниження ентропії організаційно-технологічної надійності ще на перших етапах життєвого циклу таких високотехнологічних проектів як біосферосумісні проекти та створення методологічних основ проектування, розрахунку та впровадження біосферосумісних об'єктів будівництва в умовах України в них розглянуті недостатньо повно.

МЕТА СТАТТІ

Формування методологічних та аналітичних вимог щодо запровадження та побудови інструментарію організації будівництва та

організаційно-технологічного супроводу будівельних проектів на засадах біосферної сумісності

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Будівництво як основна і необхідна частина урбанізації вимагає продуманого і обґрунтованого підходу.

Донедавна основним завданням будівництва було створення штучного середовища, що забезпечує умови життєдіяльності людини. Навколишнє середовище розглядалася лише з точки зору необхідності захисту від її негативних впливів на створюване штучне середовище. Зворотний процес впливу будівельної діяльності людини на навколишнє природне середовище та штучного середовища на природне повною мірою став предметом розгляду порівняно недавно. Лише окремі аспекти цієї проблеми, в міру практичної необхідності, вивчалися і вирішувалися поверхнево (наприклад, видалення та утилізація відходів життєдіяльності, турбота про чистоту повітря в населених пунктах і т.п.). Тим часом будівництво є одним з потужних антропогенних факторів впливу на навколишнє середовище. Антропогенний вплив будівництва різноманітно за своїм характером і відбувається на всіх етапах будівельної діяльності – видобуток та виробництво будівельних матеріалів, будівництво об'єктів, їх експлуатація і закінчуючи демонтажем відпрацьованих будівель.

Будівництво потребує великої кількості різної сировини, будматеріалів, енергетичних, водних та інших ресурсів, отримання яких робить значний вплив на навколишнє середовище. З серйозними порушеннями ландшафтів і забрудненням навколишнього середовища пов'язано ведення робіт безпосередньо на будівельному майданчику. Порушення ці починаються з розчистки території будівництва, зняття рослинного шару та виконання земляних робіт. При розчищенні території будівництва, яка раніше вже займалася під забудову, утворюється значна кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище при спалюванні, або утворюють звалища, які змінюють

морфологію ділянок, погіршують гідрологічні умови, сприяють ерозії. Ступінь впливу на природу залежить від матеріалів, з яких збирається будівля, технології зведення будівель і споруд, технологічної оснащеності будівельного виробництва, типу і якості будівельних машин, механізмів і транспортних засобів та інших факторів.

Територія будівництва стає джерелом забруднення сусідніх ділянок: вихлопи і шум двигунів машин, спалювання відходів. Вода широко використовується в будівельних процесах – як компоненти розчинів, як теплоносій в теплових мережах; після використання вона скидається, забруднюючи ґрунтові води і ґрунти введеними в неї компонентами.

Однак саме будівництво – процес відносно швидкоплинний. Значно складніша справа пов'язана з впливом на природу вже побудованих об'єктів – будівель, споруд та урбанізованих територій. Їхній вплив на навколишнє природне середовище ще недостатньо вивчено, тому практично всі екологічні заходи носять рекомендаційний характер. Що ж стосується нинішніх результатів, то: зменшується кількість дерев, забруднюються води і ґрунту внаслідок промислових викидів та накопичення комунально-побутових відходів, відбувається запилення, газове і теплове забруднення повітря, що призводить до зміни рівня радіації, випаданню опадів, зміни температур повітря, вітрового режиму, тобто до створення штучних умов на урбанізованій території.

В результаті різних впливів – тимчасових, кліматичних, експлуатаційних, проявляються негативні впливи на будівлі та споруди: руйнуються кам'яні та металеві конструкції, вицвітають і руйнуються фарби, змінюють забарвлення зовнішні огорожувальні конструкції, гинуть скульптури та орнаменти пам'яток старовини, корозірують дахи, ферми мости тощо. Залежно від методів відновлення об'єктів виникають відходи виробництва ремонтних робіт – у разі поточного ремонту це можуть бути частини внутрішнього оздоблення, у разі капітального ремонту – додаються у вели-

ких обсягах дефектні деталі інженерної структури об'єктів, опалення, водопостачання, вентиляції і т.д. У разі повної ліквідації об'єкта в сучасних умовах в будівельне сміття з великою ймовірністю потрапляють речовини, що негативно впливають на екологію – різні види пластмас, фенолів, формальдегідів і т.п.

В даний час в промисловості і будівельному комплексі використовуються технології «наскрізного ресурсного циклу»: щорічно з Біосфери добувається в середньому на кожного мешканця міста до 20 тонн мінерально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів, з яких виготовляється товарна продукція [5, с. 4]. Після втрати споживчих властивостей, практично все, що здобуто, перетворюється у відходи. Екологічна ситуація навколо міст і поселень постійно погіршується.

Забруднення від будівель можна класифікувати так. Вони відносяться:

- до фізичних забруднень (теплове забруднення та шум);
- до хімічних забруднень (спалювання палива при добуванні, виробництві будівельних матеріалів та виробів, будівництві об'єктів; їх опалення, охолодження, гаряче водопостачання, освітлення при експлуатації);
- до біологічних забруднень (плесна, що утворюється внаслідок незадовільного температурно-вологісного режиму огорожувальних конструкцій);
- до естетичних забруднень (ущільнення забудови, що призводить до знищення історичних малоповерхових будівель та порушення законів відеоєкології);
- до стійких забруднень (відходи від полімерних утеплювачів, металопластикових вікон, полімерних конструкційних та оздоблювальних матеріалів);
- до нестійких забруднень (стічні води, харчові відходи тощо).

Реалізація концепції біосферосумісних будинків і споруд в умовах ущільненої міської забудови передбачують здійснення формування, оцінювання, обґрунтування та вибору раціональних організаційно-технологічних рішень, необхідністю вияв-

лення впливу вищеперелічених еко-факторів, врахування яких дозволить нейтралізувати або локалізувати негативний вплив дестабілізуючих чинників на техніко-економічні показники, функціональне призначення, конструктивні системи, технічні рішення, матеріал конструкцій, а також технології зведення.

Для моделювання стаціонарних і нестаціонарних стохастичних впливів все частіше застосовуються методи вейвлет-аналізу. Це пов'язано з гострою потребою отримати адекватні математичні моделі як зовнішніх впливів так і стохастичних коливань споруд з якісними характеристиками їх стану в частотно-часовому просторі, які дозволять прогнозувати стохастичну поведінку споруд.

Поява вейвлет-аналізу є одним з важливих подій, які відбулися в математиці за останні десятиліття і стрімко проникли в природничі науки, багато областей техніки, економіку, фінанси. Вчені й інженери несподівано отримали можливість без особливих зусиль поглянути на предмет своїх досліджень абсолютно по-новому. Концепція «вейвлетів» виникла при вивченні частотно-часового аналізу сигналів, поширення хвиль і дискретизації сигналів. Концепція «вейвлетів» (eng. "Wavelet", "fr. Ondelette" – маленька хвиля) стала з'являтися в літературі тільки на початку 1980-х років.

Доречність упровадження вейвлет-аналізу визначається тим, що такий аналіз дозволяє розкрити локальні особливості досліджуваних часових рядів за рахунок декомпозиції вхідних даних на два ряди даних, один з яких визначається набором апроксимуючих коефіцієнтів, а інший – деталізуючих коефіцієнтів [6; 7]. При цьому апроксимуючі коефіцієнти узагальнюють трендові ознаки досліджуваного часового ряду, а деталізуючі коефіцієнти розкривають наявні особливості досліджуваного часового ряду. Таким чином, вейвлет-перетворення як складова проведення вейвлет-аналізу дозволяє визначити ієрархічну структуру вхідного досліджуваного часового ряду, що розширює можли-

вості проведення більш детального аналізу для часового ряду, який досліджується. У свою чергу, вейвлет-перетворення дозволяє розглядати вхідний ряд як часово-частотну сукупність даних, де відмічені коефіцієнти локалізують можливі місця неоднорідностей та перепадів вхідного часового ряду, а спеціальні методи дозволяють визначити змістовність досліджуваного об'єкту. Серед спеціальних методів вейвлет-аналізу для розкриття взаємності між досліджуваними часовими рядами можна виділити [8, с. 562]:

- узагальнення часово-частотного відображення досліджуваних часових рядів, яке сприяє більш повному співставленню аналізованих рядів даних та виявленню присутності неоднорідностей в динаміці таких рядів;
- застосування оцінок вейвлет-когерентності у вигляді часово-частотного відображення перетину аналізованих рядів даних, що загалом визначає змінність значень кореляції між обраними для дослідження рядами відносно окремих часових інтервалів з обраного періоду часу в цілому.

Вейвлет-перетворення одновимірного сигналу є представлення його у вигляді узагальненого ряду із системою базисних функцій

$$\Psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

який містить материнський вейвлет $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ з параметром часового масштабу a та зсуву в часі b .

В якості базисних функцій можна застосувати широкий набір вейвлетів, які обов'язково повинні мати такі основні властивості:

1. *Обмеженість.* Квадрат норми функції повинен бути кінцевим

$$\|\psi\|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty. \quad (2)$$

2. *Локалізація.* Вейвлет-перетворення застосовує локалізовану базисну функцію по часу та по частоті

$$|\psi(t)| \leq C(1+|t|)^{1-\varepsilon}. \quad (3)$$

3. *Нульове середнє.* Графік базисної функції повинна осцилювати та мати нульову площину

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0. \quad (4)$$

4. *Самоподібність(автомодельність).* Всі вейвлети конкретного сімейства мають теж число осциляцій, що і материнський вейвлет, бо отримані з нього масштабним перетворенням a та зсувом b .

Базисні вейвлет-функції широко представлені в роботах [6-9]. Вони можуть бути дискретними або неперервними, дійсними або комплексними. Існують базисні вейвлети, які описуються аналітично у вигляді формул. Наприклад, Мхат-вейвлет (mexican hat) є дійсним неперервним базисом. Його аналітичний запис має вид спектральна щільність

$$\psi(t) = (1-t^2) \exp(-t^2/2), \quad (5)$$

$$\Psi(\omega) = (i\omega)\sqrt{2\pi} \exp(-\omega^2/2). \quad (6)$$

Існують також вейвлет-функцій, які задаються ітераційними виразами, що легко обчислюються комп'ютерами. Наприклад, вейвлет Добеши (Daubechies), що реалізовано в програмі Mathcad. Вибір конкретного типу вейвлету залежить від поставленої задачі та характеристик сигналу(впливу).

Неперервне вейвлет-перетворення сигналу (НВП) (continuous wavelet transform (CWT)). Вейвлет-спектр (wavelet spectrum, time-scale-spectrum) є функцією двох аргументів: часового масштабу a , який обернений до частоти, та зсуву сигналу по часу b :

$$W(a,b) = (S(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (7)$$

де $S(t)$ – сигнал

$$S(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_s(a,b) \psi_{ab}(t) \frac{dadb}{a^2}, \quad (8)$$

C_ψ – нормируючий коефіцієнт

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty, \quad (9)$$

$\Psi(\omega)$ – Фур'є-перетворення вейвлета $\psi(t)$. Для ортонормованих вейвлетів

$$C_\psi = 1.$$

Способи візуалізації вейвлет-спектру може бути різними. Найбільш широко застосовується візуалізація у вигляді площини ab з локалізацією екстремумів коефіцієнтів (skeleton) або у вигляді поверхні в трьохвимірному просторі.

Дискретне вейвлет-перетворення сигналу.

1. Діадне (dyadic) вейвлет-перетворення. Виконується дискретизація параметрів a та b через степені двійки:

2. Дискретне на основі теореми Котельнікова. Спектр сигналу не містить частот більших за f_m і повністю визначається дискретною послідовністю своїх миттєвих значень

$$S(t) = \{S\}_i = \sum_{i=1}^{N-1} S(i\Delta t) \delta(t - i\Delta t), \quad (10)$$

де $N = 2^{n_0}$ – число відліків, $\Delta t = 1/2f_m$ – крок по часу, $f_a = 1/\Delta t = 2f_m$ – частота дискретизації, $\delta(t - i\Delta t)$ – дельта-функція.

3. Швидке вейвлет-перетворення сигналу (кратномасштабний аналіз (КМА)). Сиг-

нал $S(t)$ представляється у вигляді сукупності послідовних наближень грубої (апроксимуючої) $A_m(t)$ та уточнюючої (деталізуючої) $D_j(t)$ складової:

де коефіцієнти a_{mk} і d_{mk} залежать від базисних функцій $\varphi(t)$ та $\psi(t)$. Ці функції однозначно визначаються коефіцієнтами h_n (n – степінь вейвлету):

$$\varphi(t) = 2 \sum_n h_n \varphi(2t - n); \quad \psi(t) = 2 \sum_n g_n \varphi(2t - n); \quad (11)$$

$$h_n = (\varphi(t), \varphi(2t - 1));$$

$$g_n = (-1)^n h_{2k-1-n}.$$

Результати аналізу таких сигналів повинні містити не тільки загальну частотну характеристику (розподіл енергії сигналу по частотним складовим), але і відомості про певні локальні координати, на яких виявляють себе ті чи інші групи частотних складових або відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу. На відміну від перетворень Фур'є, вейвлет-перетворення одновимірних сигналів забезпечує двовимірну розгортку, при цьому частота і координата розглядаються як незалежні змінні, що дозволяє аналізувати сигнали відразу в двох просторах.

ВИСНОВКИ

Стан сучасного розвитку науки дозволяє висунути гіпотезу про доцільність застосування теорії і методів вейвлет-аналізу до моделювання стаціонарних і нестаціонарних стохастичних впливів, в тому числі факторів біосумісності будівництва, та дослідження динамічних характеристик складних просторових конструкцій в частотно-часовому просторі. Це дозволить отримати адекватні математичні моделі стохастичних коливань складних будівельних систем, якісні характеристики їх стану та прогнозувати їх подальшу динамічну поведінку. Основними етапами вейвлет-перетворення є декомпозиція, тобто представлення впливу через базисні вейвлет-функції та

коефіцієнти перетворення, аналіз впливу в частотно-часовому просторі (вейвлет-спектрограма) та синтез (реконструкція) впливу для оцінки ефективності застосування конкретної базисної вейвлет-функції. В подальших дослідженнях буде застосовано дискретне вейвлет-перетворення гармонічного, нелінійного та стохастичного впливів із застосуванням базисних вейвлет-функцій Добеши, які реалізовані в програмному комплексі Mathcad.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бушуєв С. Д.** Системна інтеграція підходів в управлінні будівельними проектами / С. Д. **Бушуєв, О. О. Бойко** // Управління розвитком складних систем. - 2016. - Вип. 26. - С. 43-48.
2. **Гайда, А. Ю.** Механизмы эффективного управления проектами в организационных системах с нечетко выраженными состояниями / **А.Ю. Гайда, Т.А. Фарионова, М.В. Ворона** // Управління розвитком складних систем. - 2016. - № 28. - С. 116 – 122.
3. **Нечепуренко Д. С.** Систематизація організаційно-технологічних факторів, які впливають на тривалість та вартість реалізації енергозберігаючих проектів комплексної реконструкції житлової забудови [Електронний ресурс] / **Д. С. Нечепуренко** // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Стародубовские чтения. - 2014. - Вып. 74. - С. 120-126. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmisc_2014_74_25
4. **Поколенко В. О.** Запровадження інструментарію вибору альтернатив реалізації будівельних проектів за функціонально-технічною надійністю організацій-виконавців/ **Поколенко В. О., Рижаква Г. М., Приходько Д.О** // Управління розвитком складних систем. - 2014. - Вип. 19. - С.104-108
5. **Ильичев В.А.** Моделирование и анализ закономерностей динамики изменения состояния биосферосовместимых урбанизированных территорий / **Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Бакаева Н.В., Кобелева С.А.** Жилищное строительство.- 2015.- № 3.- С. 3-9.
6. **Fan Y., Gencay R.** Unit root tests with wavelets // *Econometric Theory*. – 2010. – Vol. 26. – Iss. 05. – P. 1305–1331.

7. **Jammazi R., Lahiani A., Nguyen D. K.** A wavelet-based nonlinear ARDL model for assessing the exchange rate pass-through to crude oil prices // *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. – 2015. – Vol. 34. – P. 173–187.
8. **Grinsted A.** Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series / A. Grinsted, J. C. Moore, S. Jevrejeva // *Nonlinear processes in geophysics*. – 2004. – Vol. 11. – Iss. 5/6. – P. 561–566.
9. **Torrence C.** Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system / C. Torrence, P. J. Webster // *Journal of Climate*. – 1999. – Vol. 12. – Iss. 8. – P. 2679–2690
6. **Fan Y., Gencay R.** Unit root tests with wavelets // *Econometric Theory*. – 2010. – Vol. 26. – Iss. 05. – P. 1305–1331.
7. **Jammazi R., Lahiani A., Nguyen D. K.** A wavelet-based nonlinear ARDL model for assessing the exchange rate pass-through to crude oil prices // *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. – 2015. – Vol. 34. – P. 173–187.
8. **Grinsted A.** Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series / A. Grinsted, J. C. Moore, S. Jevrejeva // *Nonlinear processes in geophysics*. – 2004. – Vol. 11. – Iss. 5/6. – P. 561–566.
9. **Torrence C.** Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system / C. Torrence, P. J. Webster // *Journal of Climate*. – 1999. – Vol. 12. – Iss. 8. – P. 2679–2690

REFERENCES

1. **Busheyev S.** System integration of approaches in the management of construction projects / **S. Busheyev, O. Boyko** // *Management of the development of complex systems*. - 2016. - VIP. 26. P. 43-48.
2. **Gaida, A.** Mechanisms of effective project management in organizational systems with indistinct states / **A. Gaida, T. Farionova, M. Crow** // *Management of complex systems development*. - 2016. - № 28. - P. 116 - 122.
3. **Nechepurenko D.** Systematization of organizational and technological factors that affect the duration and cost of implementing energy-saving projects of complex housing reconstruction [Electronic resource] / **D. Nechepurenko** // *Stroitel'stvo. Mother-alovovedenie. Mechanical Engineering. Series: Old Russian Readings*. - 2014. - Issue. 74. P. 120-126. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmc_2014_74_25
4. **Pokolenko V.** Introducing the toolkit for choosing alternatives for the implementation of construction projects on the functional and technical reliability of implementing organizations / **Pokolenko V, Ryzhakova G, Prykhodko D** // *Management of the development of complex systems*. - 2014. - Vip. 19. - P.104-108
5. **Ilyichev V.** Modeling and analysis of patterns of dynamics of state change of biosphere-compatible urban areas / **V. Ilichev, S. Emel'yanov, V. Kolchunov, N. Bakaeva, S. Kobelev** *Housing construction* .- 2015.- № 3.- P. 3-9.

Denys Chernyshev, Maksym Druzhinin,

Ganna Shpakova

Abstract. The article is devoted to the search for advanced analytical tools and methodological-algorithmic techniques of organizational-technological and stochastic evaluation, overcoming risks and threats in the implementation of projects of biosphere-compatible construction. The expediency of applying the theory and methods of wavelet analysis in the study of non-stationary stochastic oscillations of complex spatial structures is substantiated, due to the need to more accurately predict their dynamic behavior and to identify the characteristics of structures in frequency-time space.

Keywords: wavelet analysis, stochastic estimation, environmental uncertainty, construction project, biosphere compatibility of construction