

Ключові слова: сейсмічне навантаження, динамічне навантаження, діафрагма жорсткості, вимушені коливання, ударна дія.

T.J.Hasanova, T.Sh.Mammedli

The analysis of behavior of materials and frame buildings with the rigidity diaphragm at shock and vibration seismic influences

In the article the results of dynamic tests are shown: Research of influence of dynamic load on strength and deformative characteristics of construction materials; Experimental check of a new method of calculation of a design on dynamic influences; Research of static parameters of dynamic influences; Improvement of a technique of dynamic tests. The author removes results of an experiment which purpose to register the parameters characterizing work of a design under loading and to compare them with allowed.

Key words: seismic loading, dynamic load, rigidity diaphragm, the forced fluctuations, shock influence.

УДК 339.03:658.51

В.В. Титок,

старший викладач

ORCID: 0000-0002-9527-3006

О.М. Ємельянова,

канд. наук з держ. управ.

ORCID: 0000-0001-9831-4734

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРАХУНОК ВИПАДКОВИХ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОБІТ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЯХ ЗВЕДЕННЯ КАРКАСНО-МОНОЛІТНОГО БУДИНКУ

В статті розглянуто метод імітаційного моделювання, який враховує особливості його використання в умовах зведення каркасно-монолітного будинку. Розроблено методику імітаційного моделювання з використанням методу Монте-Карло для виконання однієї роботи і будівництва об'єкта в цілому для двофакторного бета-розподілу. Отримані емпіричні закономірності, що характеризують тривалості окремих робіт та етапів зведення каркасно-монолітного будинку.

Ключові слова: каркасно-монолітні будівлі, тривалість будівництва, бета-розподіл, імовірнісні моделі.

Аналіз досліджень і публікацій з проблематики. Особливістю сучасних складних виробничих систем в будівництві є те, що вони реалізуються в обстановці випадкових впливів, обставин і перешкод на основі апарату сітьових моделей. В зв'язку з необхідністю оптимізації календарного, ресурсного, вартісного планування у будівництві в умовах затримок робіт і зміни їх тривалості, актуальним є планування робіт будівельного об'єкта з урахуванням випадкової тривалості робіт.

У практиці створення будівельних об'єктів широко використовуються ймовірнісні методи. Такі методи при створенні моделей використовували у своїх працях Антипенко С.Ю. [1], Бабич В.І. [2], Дадіверіна Л.М. [5], Данкевич Н.О. [6], Калугін Ю.Б. [7], Лубенець В.Г. [9], Шатрова І.А. [12] та інші. Наприклад, для визначення тривалості виконання окремих комплексів будівельних робіт в середині

сімдесятих років двадцятого століття для зведення промислових об'єктів були запропоновані моделі, засновані на обробці статистичних даних залежності тривалості від планової трудомісткості робіт [9]. Практика впровадження отриманих залежностей показала, що вони дають задовільні дані, відхилення від дійсного значення математичного очікування термінів завершення подій не перевищує 3-5 %.

Однак, у зв'язку зі зміною об'єктів будівництва, а також зі змінами, пов'язаними з появою нових матеріалів, наприклад, поява в практиці будівельного виробництва бетонів високої пластичності, в яких в якості заповнювача використовується щебінь більш дрібної фракції, ці залежності мають бути перевірені або уточнені. В даний час отримати подібні статистичні дані про фактичні тривалості зведення каркасно-монолітних споруд складно.

Крім того, оскільки для замовника окупність вкладених коштів залежить не тільки від періоду виконання будівельно-монтажних робіт, але й від періоду розробки проектно-кошторисної документації, використання отриманих на основі обробки статистичних даних щодо тривалості будівництва не забезпечить достатньої надійності розроблюваних планових документів. В практиці планування процесу створення будівельного об'єкта, на наш погляд, можуть використовуватися моделі, в яких застосовуються конкретні різновиди бета-розподілу для розрахунку тривалості виконання різних комплексів робіт.

Постановка завдання. Тому метою статті є розробка методики визначення часових параметрів виконання як окремих робіт, так і етапів (роботи замовника, проектувальника та будівельної організації) створення об'єктів з використанням моделей на основі бета-розподілу, а також перевірка точності та адекватності зазначених моделей.

Основний матеріал. За допомогою таких моделей можна враховувати не тільки ймовірнісний характер проведення робіт, але й ті зміни в тривалості роботи, які можуть відбутися в результаті впливу попередніх дій. Для цього може бути використаний наступний різновид бета-розподілу [13, 14]:

$$\varphi(x) = \frac{(\zeta+1)(\zeta+2)(\zeta+3)}{2(b-a)^{\zeta+3}} (x-a)^{\zeta} (b-x)^2, \quad (1)$$

де $\varphi(x)$ - функція щільності ймовірності випадкової величини X ;

x - значення випадкової величини тривалості виконання роботи або комплексу робіт;

a - мінімально можлива тривалість виконання роботи;

b - максимально можлива тривалість виконання роботи;

ζ - параметр, що характеризує ефективність функціонування системи управління.

Для бета-розподілу математичне очікування t_m і дисперсія σ^2 тривалості виконання окремої роботи визначаються за формулами:

$$t_m = \frac{b\zeta + b + 3a}{\zeta + 4}; \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{3(\zeta+1)(b-a)^2}{(\zeta+4)^2(\zeta+5)}. \quad (3)$$

Аналіз (1), (2) та (3) показує, що значення математичного очікування зростає при збільшенні параметра ζ ($\zeta > 2$) і знижується при його зменшенні ($\zeta < 2$) (рис. 1).

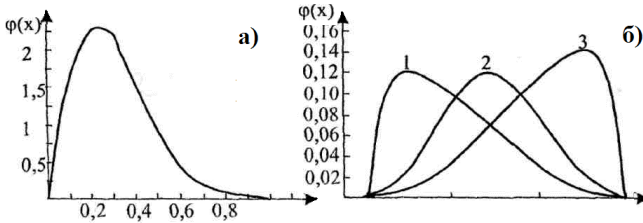


Рис. 1. Графік розподілу щільності ймовірності бета-розподілу [14]: а) – загальний вид функції; б) – по (1) при $\zeta=0,5$ (1); $\zeta=2$ (2); $\zeta=4$ (3).

Це відображає фактичну сутність процесу планування виробництва. Чим оперативніше реагує система на відхилення і чим повніше усуває наслідки затримок, тим менший вплив на показники виробничого процесу роблять випадкові фактори. Тому параметр, досить повно характеризує рівень ефективності органу управління, що дозволяє враховувати його при проектуванні виробничих процесів.

При малому значенні ζ найбільш ймовірний термін завершення будівництва при виконанні робіт наближається до мінімально можливого значення з незначним інтервалом розсіювання. У свою чергу при великому значенні ζ , відповідає більш оперативній роботі системи керування, що забезпечує більш якісне усунення затримок.

Якщо прийняти, що директивний термін будівництва об'єкта або виконання комплексу робіт T_d є найбільш вірогідним, то (1) з урахуванням (2) після перетворень набуде вигляду:

$$T_{\text{буд}} = \frac{(\zeta+1)k_{\text{устр}}b\beta_{\text{сн}}}{(\zeta+4)\bar{k}}, \quad (4)$$

де $\beta_{\text{сн}}$ - коефіцієнт, що характеризує частку директивної тривалості будівництва об'єкта, протягом якої очікується зниження темпу від максимального значення до мінімального.

При прийнятій тривалості циклу створення будівельного об'єкта або його частини величина ζ , необхідна для розрахунку часових параметрів моделі УБ, може бути визначена з (4):

$$\zeta_1 = \frac{4\bar{k}T_{\text{буд}} - k_{\text{устр}}\beta_{\text{сн}}b}{k_{\text{устр}}\beta_{\text{сн}}b - \bar{k}T_{\text{буд}}}. \quad (5)$$

Оскільки ймовірність виконання всього комплексу робіт в терміни, нарівні або менші математичного очікування, невелика (при $\zeta=2$ ймовірність $\rho(T_d) = 0,5$), потрібно визначити параметри, що забезпечують виконання всіх робіт у встановлені терміни з заданою ймовірністю (надійністю). Ймовірність виконання всього комплексу робіт в задані терміни можна визначити за допомогою виразу, отриманого з формули бета-розподілу (1):

$$\rho(T_d) = 0,5\alpha_n^{\zeta+1}[\alpha_n^2(\zeta+1)(\zeta+2) - 2\alpha_n(\zeta+1)(\zeta+3) + (\zeta+2)(\zeta+3)], \quad (6)$$

де $\rho(T_d)$ - ймовірність виконання робіт в заданий T_d ;

$$\alpha_n = \frac{T_d - a}{b - a}; \quad a < T_d < b.$$

Вираз (6) при заданому значенні ймовірності виконання робіт в установлені терміни T_d дозволяє обчислити параметр і відповідну йому тривалість циклу створення будівельного об'єкта $T_{\text{буд}}$. Даний підхід забезпечує встановлення такого

режиму функціонування органу управління, який з певною ймовірністю гарантує завершення робіт у встановлені терміни.

Значення ζ , можна обчислити методом ітерацій, для чого представимо (6) у вигляді:

$$\zeta = \frac{\ln 2\rho^{\text{зад}}(T_d) - \ln |\alpha_n^2(\zeta+1)(\zeta+2) - 2\alpha_n(\zeta+1)(\zeta+3) + (\zeta+2)(\zeta+3)|}{\ln \alpha_n} - 1 \quad (7)$$

Задавшись в (7) якимось значенням ζ , обчислюємо нове його значення, яке знову підставляємо в праву частину виразу. Обчислення продовжується до тих пір, поки знову отримане значення ζ не стане відрізнятися від попереднього, на досить малу величину; воно дозволяє по (4) визначити відповідну тривалість циклу створення будівельного об'єкта.

При прийнятті рішень в процесі створення будівельного об'єкта або його частини та розглядя питання про зміну режиму функціонування системи виникає необхідність визначення періоду, протягом якого будуть завершені роботи з встановленою надійністю $\rho^{\text{зад}}(T)$. Для вирішення такого завдання вираз (6) перетвориться в наступну формулу, що дозволяє методом ітерацій обчислити значення α_n :

$$\alpha_n = \frac{2\rho^{\text{зад}}(T)}{\alpha_n^{\zeta+2}(\zeta+1)(\zeta+2) - 2\alpha_n^{\zeta+1}(\zeta+1)(\zeta+3) + \alpha_n^{\zeta}(\zeta+2)(\zeta+3)}. \quad (8)$$

Після визначення значення α_n обчислюється розрахунковий термін виконання проекту:

$$T = \alpha_n(b - a) + a. \quad (9)$$

Так, наприклад, зведення 22-поверхового каркасу каркасно-монолітного будинку займає в середньому 250 робочих днів. Відхилення від цього терміну не перевищують 20 днів. Для знову споруджуваного будинку треба визначити розрахунковий термін завершення робіт з ймовірністю $\rho^{\text{зад}}(T) = 0,95$. Розгляд ходу будівництва і розробка необхідних заходів здійснюються на початку кожного тижня ($T_{\text{буд}} = 5$ дн.).

Для визначення розрахункового терміну по (5) обчислюємо значення параметра ζ :

$$\zeta = \frac{4 \cdot 0,95 \cdot 5 - 0,95 \cdot 0,0433(250 + 20)}{0,95 \cdot 0,0433(250 + 20) - 0,95 \cdot 5} = 1,24.$$

Приймаємо $\alpha_n = 0,9$; і після декількох ітерацій в (8) отримуємо $\alpha_n = 0,7685$, тоді тривалість будівництва, що відповідає ймовірності $\rho(T) = 0,95$,

$$T = 0,7685(270 - 230) + 230 = 261 \text{ день}.$$

Розглянута методика визначення ймовірності завершення робіт у встановлений термін та режиму функціонування системи планування виробництва припускає, що нам відомий закон розподілу випадкової величини - тривалості.

При зведенні групи об'єктів або виконанні комплексу робіт достовірні дані за випадковими тимчасовими параметрами можуть бути встановлені, як правило, лише для окремих комплексів робіт по об'єкту, окремих об'єктів між собою або окремих етапів створення будівельного об'єкта, наприклад, розробки проектно-кошторисної документації та виконання будівельно-монтажних робіт. При цьому випадкові тимчасові характеристики значною мірою залежать від особливостей їх взаємоув'язки і можуть істотно змінюватися в ході будівництва. Тому досить актуально є задача визначення закону розподілу загального строку будівництва всього комплексу об'єктів на основі встановлених законів розподілу випадкових величин тривалості зведення окремих об'єктів і послідовності їх будівництва в складі комплексу. Аналогічна задача виникає і при розгляді комплексу будівельних

робіт. При цьому в процесі реалізації затвердженого плану будівництва задача виявлення закону розподілу кінцевого терміну може вирішуватися неодноразово, так як виникають відхилення від плану, і проводиться його коригування.

Відповідно до складених планів частина споруд у складі комплексу зводиться послідовно, параметри бета-розподілу загального строку будівництва всього комплексу можуть бути визначені за досить простими формулами при відомих параметрах бета-розподілу випадкових величин тривалості будівництва окремих об'єктів. Так, найбільш ймовірна тривалість будівництва декількох споруд і дисперсія цієї величини визначаються простим сумуванням цих показників для окремих об'єктів.

При паралельному будівництві декількох об'єктів (паралельному виконанні декількох робіт) формула щільності ймовірності терміну будівництва (завершення робіт) є зверсткою відповідних бета-розподілів. Тому, отримання як загальної формули розподілу, так і основних ймовірнісних характеристик (найбільш вірогідної тривалості та її дисперсії) в аналітичному вигляді представляє значні труднощі.

У зв'язку з цим для виведення відповідних формул доцільно скористатися методикою наближених обчислень. Сутність її полягає в обчисленні найбільш вірогідної загальної тривалості будівництва комплексу об'єктів і її дисперсії і визначенні на їх основі мінімально і максимально можливого терміну будівництва. Ці обчислення ведуться в припущенні достовірності бета-розподілу як для тривалості будівництва окремих об'єктів, так і їх комплексу.

Обчислення найбільш вірогідної тривалості будівництва комплексу об'єктів (математичного очікування T) починається з виявлення шляхів (ланцюгів) послідовно споруджуваних об'єктів, що мають найбільшу тривалість. Аналогічним чином при розгляді комплексу робіт виявляються всі шляхи графіка, які мають тривалість, близьку до тривалості критичного шляху. Після цього для кожної послідовності об'єктів або робіт обчислюються значення T і його дисперсії шляхом сумування цих велич для окремих об'єктів або робіт. Значення мінімально і максимально можливих тривалостей зведення об'єктів однієї послідовності визначаються за формулами:

$$\alpha_l = T_l - \sqrt{\frac{D(x_l)(\zeta+1)(\zeta+5)}{3}}, \quad (10)$$

$$b_l = T_l + \sqrt{\frac{3(\zeta+5)D(x_l)}{(\zeta+1)}}, \quad (11)$$

де α_l - мінімально можлива тривалість зведення об'єктів l -ої послідовності;

b_l - максимально можлива тривалість зведення об'єктів l -ої послідовності;

T_l - математичне очікування тривалості зведення об'єктів l -ої послідовності:

$T_l = \sum_{k=1}^{n_l} T_{lk}$, де n_l - кількість об'єктів l -ої послідовності, а T_{lk} - тривалість k -го об'єкту l -ої послідовності;

$D(x_l)$ - дисперсія тривалості зведення об'єктів l -ої послідовності; $D(x_l) = \sum_{k=1}^{n_l} D(x_{lk})$, де $D(x_{lk})$ - дисперсія тривалості k -го об'єкта l -ої послідовності.

У результаті обчислень кожна послідовність об'єктів або робіт може розглядатися як окремий об'єкт або робота, для яких встановлені всі параметри бета-розподілу: a , b , T , $D(x)$, ζ . У відповідності з цим параметри бета-розподілу тривалості зведення комплексу об'єктів (виконання комплексів робіт) визначаються шляхом розгляду даних послідовностей. При цьому спочатку розглядаються дві послідовності об'єктів і для них визначаються параметри загального бета-розподілу. Потім ці послідовності розглядаються як одна спільно з третьою послідовністю

об'єктів. Для цих послідовностей знову визначаються параметри загального бета-розподілу. Такий процес продовжується до тих пір, поки не будуть розглянуті всі послідовності будівництва об'єктів.

При обчисленні слід мати на увазі, що математичне очікування тривалості зведення об'єктів двох послідовностей залежить від ступеня суміщення інтервалів a_1-b_1 і a_2-b_2 . При $a_2 > b_1$ математичне очікування тривалості зведення об'єктів двох послідовностей (або закінчення робіт на двох об'єктах, які зводяться паралельно) дорівнює математичному очікуванню тривалості зведення об'єктів другої послідовності (другого об'єкта). При $a_1 \leq a_2 < b_1$ і $a_2 < b_1 \leq b_2$ відбувається певне суміщення інтервалів a_1-b_1 і a_2-b_2 , яке може бути сильним або слабким. У тому випадку, коли інтервал суміщення термінів закінчення будівництва за двома послідовностями a_2-b_1 не включає в себе значення мод випадкових величин x_1 і x_2 , суміщення вважається слабким. Якщо інтервал суміщення a_2-b_1 включає значення хоча б однієї моди випадкової величини x_1 або x_2 , суміщення вважається сильним (рис. 2).

Математичне очікування тривалості зведення двох об'єктів (терміну закінчення будівництва об'єктів двох послідовностей) можна визначити так:

$$T_{1-2} = T_2 + \Delta t_{1-2}, \quad (12)$$

де Δt_{1-2} - величина приросту математичного очікування тривалості будівництва споруд за рахунок поєднання інтервалів a_1-b_1 і a_2-b_2 .

При цьому у випадку слабого суміщення інтервалів a_1-b_1 і a_2-b_2 значення Δt_{1-2} визначається за формулою:

$$\Delta t_{1-2} = \frac{(\zeta+1)^2(\zeta+2)^2(\zeta+3)^2(b_1-a_2)^{\zeta+5}(a_2-a_1)^\zeta(b_2-b_1)^2}{480(b_1-a_1)^{\zeta+3}(b_2-a_2)^{\zeta+3}}. \quad (13)$$

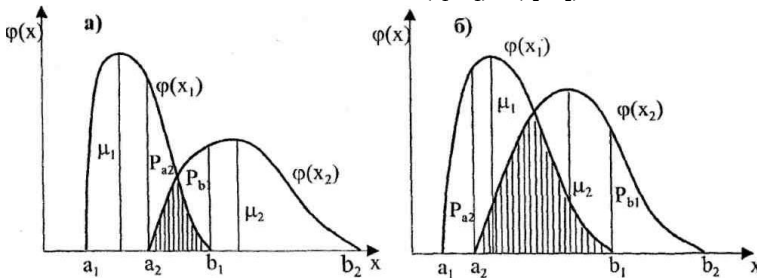


Рис. 2. Схема поєднання щільностей розподілу термінів завершення двох робіт:

а) - слабе суміщення, $a_2 > x_{\mu_1}$ і $x_{\mu_2} > b_1$;

б) - сильне суміщення $a_2 < x_{\mu_1}$ і $b_1 > x_{\mu_2}$.

Дисперсія у даному випадку обчислюється за формулою, отриманою з (11) з урахуванням незмінності правої (максимальної) межі інтервалу:

$$D(x_{1-2}) = \frac{(b_2-T_{1-2})^2(\zeta+1)}{3(\zeta+5)}. \quad (14)$$

При сильному суміщенні інтервалів a_1-b_1 і a_2-b_2 значення Δt_{1-2} знаходиться за формулою:

$$\Delta t_{1-2} = \frac{15(b_1-a_2)^{\zeta+1}(\zeta+1)(\zeta+2)(\zeta+3)}{2(\zeta+4)(2\zeta+3)(2\zeta+5)(2\zeta+7)(b_2-a_2)(b_1-a_1)(b_2-a_1)}. \quad (15)$$

Дисперсія терміну закінчення будівництва двох споруд при сильному суміщенні також обчислюється за (14) при значенні Δt_{1-2} , визначеному за (15).

Отримані значення T_{1-2} і $D(x_{1-2})$ дозволяють обчислити значення за (3.10), що дає можливість замість двох об'єктів розглядати один з обчисленими параметрами бета-розподілу $a_{1,2}$, $b_{1,2}$ і ζ . Знайдені при подальших аналогічних розрахунках параметри бета-розподілу тривалості зведення всього комплексу об'єктів дають можливість визначити ймовірність завершення робіт у встановлені терміни за (6).

Результати дослідження. Розглянемо приклад визначення параметрів бета-розподілу терміну закінчення трьох ланцюгів робіт, у яких $a_1=30$; $b_1=50$; $a_2=35$; $b_2=50$; $a_3=32$; $b_3=55$ (у тижнях). Показник $\zeta=3$. Директивний термін завершення робіт $T_d=52$ тижня.

1. Визначаємо значення T і $D(x)$ за (2) і (3):

$$T_1 = \frac{50 \cdot 3 + 50 + 3 \cdot 30}{3 + 4} = 41,43; D(x_1) = \frac{3 \cdot 4 \cdot (50 - 30)^2}{7^2 \cdot 8} = 12,24;$$

$$T_2 = \frac{50 \cdot 3 + 50 + 3 \cdot 35}{3 + 4} = 43,57; D(x_2) = \frac{3 \cdot 4 \cdot (50 - 35)^2}{7^2 \cdot 8} = 6,89;$$

$$T_3 = \frac{55 \cdot 3 + 55 + 3 \cdot 32}{3 + 4} = 45,14; D(x_3) = \frac{3 \cdot 4 \cdot (55 - 32)^2}{7^2 \cdot 8} = 16,19.$$

2. Обчислюємо значення математичного очікування терміну закінчення і дисперсії для двох перших послідовностей робіт за формулами сильного суміщення:

$$\Delta t_{1-2} = \frac{15 \cdot (50 - 35)^4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{2 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 13 \cdot (50 - 35)(50 - 30)(50 - 30)} = 0,84 \text{ тижні};$$

$$T_{1-2} = 43,57 + 0,84 = 44,41 \text{ тижні};$$

$$D(x_{1-2}) = \frac{(50 - 44,41)^2 \cdot 4}{3 \cdot 8} = 5,21 \text{ тижні}.$$

3. Знаходимо за (10) і (11) межі розсіювання терміну закінчення робіт за першими двома послідовностями:

$$a_{1-2} = 44,41 - \sqrt{\frac{5,21 \cdot 4 \cdot 8}{3}} = 44,41 - 7,45 = 36,96 \text{ тижні};$$

$$b_{1-2} = 44,41 + \sqrt{\frac{3 \cdot 8 \cdot 5,21}{4}} = 44,41 + 5,59 = 50 \text{ тижнів}.$$

4. Визначаємо значення математичного очікування і дисперсії всіх трьох послідовностей робіт за формулами сильного суміщення:

$$\Delta t_{1-2-3} = \frac{15 \cdot (50 - 32)^4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{2 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 13 \cdot (55 - 32)(50 - 36,96)(55 - 32)} = 1,52 \text{ тижні}$$

(оскільки $a_3 < a_{1,2}$, то беремо $b_{2,1} a_3 = 55 - 32$);

$$T_{1-2-3} = 45,14 + 1,52 = 46,66 \text{ тижнів};$$

$$D(x_{1-2-3}) = \frac{(55 - 46,66)^2 \cdot 4}{3 \cdot 8} = 11,59 \text{ тижні}.$$

5. Обчислюємо межі розсіювання терміну закінчення всіх робіт за трьома ланцюгами:

$$a_{1-2-3} = 46,66 - \sqrt{\frac{11,59 \cdot 4 \cdot 8}{3}} = 46,66 - 11,12 = 35,54 \text{ тижні};$$

$$b_{1-2-3} = 46,66 + \sqrt{\frac{3 \cdot 8 \cdot 11,59}{4}} = 46,66 + 8,34 = 55 \text{ тижнів}.$$

Визначаємо ймовірність завершення робіт у директивний термін по (6):

$$\alpha_n = \frac{52 - 35,54}{55 - 35,54} = 0,846;$$

$$\rho(52) = 0,5 \cdot 0,846^4 \cdot [0,846^2 \cdot 4 \cdot 5 - 2 \cdot 0,846 \cdot 4 \cdot 6 + 5 \cdot 6] = 0,949.$$

Висновки. Отримавши результат свідчить про достатню ймовірність завершення робіт у встановлений термін. Реалізація запропонованого методу дозволить ще на стадії планування визначити найбільш ймовірні терміни виконання комплексів робіт, підвищити надійність і достовірність календарних планів.

Список літератури:

1. Антипенко Є.Ю. Науково-акомодативні засади ресурсно-календарного моделювання будівельного виробництва [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.08 / Антипенко Євген Юрійович; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. -, 2011. – 40с.
2. Бабич В.І. Порівняльний аналіз існуючих підходів до інтерактивного організаційно-технологічного моделювання будівельного виробництва / В.І. Бабич, І.М. Перевертун // Пробл. програмування. – К., 2005. - №2. – с. 52-63.
3. Вітлінський В.В. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація: навч. посібник [Електронний ресурс] / Вітлінський В.В., Терещенко Т.О., Савіна С.С. — К.: КНЕУ, 2016. — 303 с.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие. – М.: Высш. шк., 2002. – 279 с.
5. Дадіверіна Л.М. Удосконалення методів оцінки можливості реалізації будівельних проектів в умовах заданих обмежень (на прикладі житлового будівництва): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.22 / Л.М. Дадіверіна; Приднєпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – Д.: ПДАБА, 2002. – 18с.
6. Данкевич Н.О. Оцінка організаційно-технологічних рішень будівельного проекту за допомогою імітаційного моделювання / Н.О. Данкевич// Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2013. - №1. – с.43-48
7. Калугин Ю.Б. Сущность календарного планирования работ с вероятностными временными параметрами [Текст] / Ю.Б. Калугин // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 9. — С. 92–106.
8. Куликов Ю.А. Имитационные модели и их применение в условиях строительства. – М.: Стройиздат, 1990. – 135с.
9. Лубенець В.Г., Галішев Г.П. та ін. Номограми для визначення тривалості будівельно-монтажних робіт. Мінтяжбуд УРСР, Київ, Будівельник, 1975
10. Ніпрук Н.І. Ефективність, раціональність та перспективи зведення монолітно-каркасних будівель/Н.І. Ніпрук//Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького. - 2014. - Т. 16, № 2(4). - С. 125-129. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2014_16_2%284%29_21
11. Одинський В.Г. Організаційно-технологічні основи вдосконалення планування реалізації об'єктів будівництва: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.08 / В.Г. Одинський ; Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. — Д., 2004. — 19 с.
12. Шагрова І. А. Оптимізація тривалості робіт житлового будівництва: дис... канд. техн. наук: 05.23.08 / Київський національний ун-т будівництва і архітектури. - К., 2006. – 173с.
13. Шепелев И.Г. Математические методы и модели управления в строительстве: учеб. пособие / И. Г. Шепелев. - Москва: Высшая школа, 1980. - 213с.
14. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении / МГУ им. М.В. Ломоносова, Ин-т гос. упр. и соц. исслед. –М.: Дело, Акад. нар.хоз-ва при Правительстве Рос. Федерации, 2000. – 439с.