

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 69.032.22:658.512.4

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ
ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ТРИВАЛОСТІ ТА ВАРТОСТІ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА**

*В. І. Большаков, д. т. н., проф., Т. С. Кравчуновська, д. т. н., доц., Є. І. Заяць, к. т. н., доц.,
С. В. Єпіфанцева, здобувач*

Ключові слова: *будівництво, тривалість, вартість, прогнозування*

Постановка проблеми та її зв'язок із науковими і практичними завданнями. Проблема підвищення ефективності організації та управління процесом висотного будівництва вирішується шляхом розробки концепції, методологічних принципів, методів організаційно-технологічного проектування висотного будівництва на основі вдосконалення механізму формування, оцінки та вибору раціональних організаційно-технологічних рішень зведення висотних будівель та висотних багатофункціональних комплексів, спрямованих на скорочення тривалості виробництва робіт та зниження вартості будівельної продукції, з урахуванням впливу множини технологічних, технічних, організаційних, часових, соціальних та вартісних факторів відповідно до основних положень [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тривалість та вартість будівництва залежать від багатьох суб'єктивних факторів. У працях Ю. О. Гриценко [6] запропоновано економіко-математичні моделі обґрунтування кошторисної вартості реконструкції житлового будинку залежно від їх периметра, обсягу надбудови, площі основи та висоти.

У наукових працях В. А. Давидова [9] досліджено вплив складності проектних рішень із реконструкції промислових підприємств на величину приведених витрат.

Наукові праці Т. В. Данилової [10] присвячені обґрунтуванню доцільності реконструкції житлових будинків на передінвестиційній стадії управління проектами на основі прогнозування тривалості, вартості та трудомісткості реконструкції житлових будинків з урахуванням впливу таких організаційно-технологічних факторів як стисненість будівельного майданчика, необхідність підсилення конструкцій, поверховість, обсяг розбирання елементів будівлі, конфігурація будівлі, вартість земельної ділянки.

Дослідження В. Ф. Залуніна [14] присвячені обґрунтуванню вартості реалізації інвестиційно-будівельних проектів.

В. М. Кірносом [15], О. В. Лантух [18] досліджено вплив організаційно-технологічних факторів, зокрема обсягу будівельно-монтажних робіт, характеру реконструкції, ступеня зовнішньої стисненості, ступеня внутрішньої стисненості, ступеня складності виробництва основних типів будівельно-монтажних робіт, на тривалість та вартість реконструкції промислових підприємств (на прикладі підприємств підгалузей чорної металургії).

У наукових працях Т. С. Кравчуновської [17] одержали подальший розвиток теоретичні основи організаційно-технологічного обґрунтування тривалості та вартості комплексної реконструкції житлової забудови завдяки врахуванню низки факторів: фактора поліпшення житлових умов, фактора достатності центральних інженерних комунікацій, фактора оновлення забудови, фактора термореновації, фактора оновлення вулично-дорожньої мережі, фактора модернізації системи соціально-побутового обслуговування населення, фактора достатності елементів благоустрою житлової забудови, фактора стисненості.

Дослідження В. В. Савйовського [19] присвячені прогнозуванню собівартості, тривалості і трудомісткості реконструкції цивільних будівель на основі багатофакторних математичних моделей з урахуванням впливу стисненості, різномірності конструкцій, необхідності підсилення конструкцій, поверховості будівлі, геометричної конфігурації будівлі, а також прогнозуванню терміну експлуатації будівлі після її реконструкції залежно від величини питомих витрат на неї.

У працях А. А. Хататбе [20], О. Ю. Гупало [7], О. І. Кірнос [16] виявлено залежності вартості будівництва багатоповерхових житлово-цивільних об'єктів з урахуванням впливу організаційно-технологічних факторів: площі забудови, житлової площі, будівельного обсягу, поверховості, ступеня стисненості і складності умов виробництва будівельно-монтажних робіт.

Дослідження А. П. Броневицького [5] присвячені організаційно-технологічному обґрунтуванню тривалості висотного цивільного будівництва в умовах ущільненої міської забудови з урахуванням впливу таких факторів як тип будівлі; функціональне призначення будівлі; конструктивна система будівлі; форма висотної будівлі в плані; висота будівлі; поверховість; будівельний об'єм будівлі; загальна площа будівлі; умови стисненості.

Проте на сьогодні відсутнє вичерпне організаційно-технологічне обґрунтування прогнозованих тривалості та вартості висотного будівництва.

Завдання прогнозування тривалості та вартості будівництва може вирішуватись із застосуванням методів математичного моделювання, статистичного моделювання, імітаційного моделювання, організаційно-технологічного моделювання.

Здебільшого в дослідженнях організаційно-технологічних процесів зведення об'єктів цивільного та промислового призначення зустрічаються не функціональні залежності, коли величині факторного показника відповідає єдина величина результативного показника, а стохастичні залежності, які відрізняються приблизністю, невизначеністю. Саме тому для прогнозування тривалості та вартості будівництва доцільно застосовувати методи статистичного моделювання.

Значення багатьох з організаційно-технологічних та інших факторів можна визначити вже на етапі передінвестиційного аналізу й уточнити при організаційно-технологічному проектуванні та представити їх вплив на техніко-економічні показники проекту у вигляді однофакторних та багатфакторних моделей.

Метою статті є аналіз вимог до статистичної інформації, використовуваної для моделювання зв'язку між тривалістю та вартістю висотного будівництва й організаційно-технологічними факторами, а також побудови моделі зв'язку та оцінки її істотності.

Виклад матеріалу. Організаційно-технологічні процеси зведення об'єктів цивільного та промислового призначення не завжди можна звести до функціональних залежностей, коли величині факторного показника відповідає єдина величина результативного показника.

Найчастіше в дослідженнях зустрічаються стохастичні залежності, які відрізняються приблизністю, невизначеністю. Вони виявляються тільки в середньому по значній кількості об'єктів. Кожній величині факторного показника (аргументу) може відповідати декілька значень результативного показника (функції). Залежно від того, наскільки оптимально поєднуються різні фактори, буде неоднаковим ступінь впливу кожного з них на величину результативного показника.

Аналіз організаційно-технологічних процесів висотного будівництва повинен ґрунтуватись на надійній статистичній інформації.

Використовувана для аналізу організаційно-технологічних факторів та техніко-економічних показників будівельних проектів статистична інформація повинна задовольняти таким вимогам:

- точність, повнота і репрезентативність одержуваної інформації про досліджувані процеси;
- відповідність інформації завданням дослідження, яке проводиться;
- достовірність інформації як ступінь відповідності статистичної інформації дійсності, що відображається;
- оперативність інформації;
- зручність роботи з початковою інформацією, яка забезпечує можливість швидкого одержання відомостей про кожну одиницю сукупності, їх ідентифікації, систематизації;
- об'єктивність інформації;
- реальність початкової інформації як віддзеркалення різних сторін прояву процесів дійсності;
- одержання достатнього для аналізу обсягу досліджуваної сукупності;
- систематичність збирання та обробки інформації;
- науковий підхід до інформації на основі методів пізнання дійсності і загальних положень статистики як науки;
- адекватність інформації за суттю і характером процесів, які вивчаються.

Методика комплексного аналізу статичної інформації і виявлення причинно-наслідкових зв'язків включає:

- апріорний аналіз початкових статистичних даних;

– відбір факторних ознак із застосуванням методу кореляційного аналізу або методу експертних оцінок;

– моделювання зв'язку досліджуваного процесу.

Аналіз статистичних даних слід починати з апіорного аналізу, який включає такі етапи:

– вплив істотних причинно-наслідкових зв'язків між ознаками і процесами;

– оцінку однорідності досліджуваної сукупності;

– аналіз характеру розподілу сукупності за досліджуваними ознаками.

Для дослідження стохастичних співвідношень використовуються: порівняння паралельних і динамічних рядів, аналітичні угруповання, графіки. Проте вони дозволяють виявити тільки загальний характер і напрям зв'язку. Основне ж завдання факторного аналізу – визначити ступінь впливу кожного фактора на рівень результативного показника. Для цієї мети застосовують способи кореляційного, дисперсійного, компонентного, сучасного багатовимірного факторного аналізу.

Найширше застосування знайшли прийоми кореляційного аналізу, які дозволяють кількісно виразити взаємозв'язок між показниками.

Відбір факторів для кореляційного аналізу є дуже важливим. Від того, наскільки правильно він виконаний, залежить точність висновків за підсумками аналізу. При цьому застосовуються такі правила:

– при відборі факторів ураховуються причинно-наслідкові зв'язки між показниками, оскільки тільки вони розкривають суть процесів, що вивчаються;

– при створенні кореляційної моделі відбираються найбільш значущі фактори, які здійснюють вирішальний вплив на результативний показник, оскільки охопити всі умови і обставини практично неможливо. Фактори, які мають критерій надійності за Стьюдентом менше табличного, не рекомендується враховувати;

– усі фактори повинні бути кількісно вимірюваними;

– не рекомендується включати в кореляційну модель взаємопов'язані фактори;

– небажано включати в кореляційну модель фактори, зв'язок яких із результативним показником має функціональний характер.

Побудова моделі зв'язку та оцінка її істотності включає:

– визначення параметрів моделі методом найменших квадратів;

– побудову рівняння зв'язку методом покрокового регресійного аналізу;

– перевірку адекватності регресійної моделі досліджуваному процесу;

– перевірку значущості коефіцієнтів регресії при факторних ознаках, що увійшли до моделі, на основі t -критерію Стьюдента;

– перевірка значущості рівняння регресії на основі F – критерію Фішера;

– розрахунок і аналіз середньої квадратичної помилки і дисперсії.

Взаємозв'язок між досліджуваними факторами і результативним показником виявиться, якщо взяти для дослідження велику кількість об'єктів і порівняти їх значення. Тоді відповідно до закону великих чисел вплив інших факторів на результативний показник згладжується, нейтралізується. Це дає можливість установити зв'язок, співвідношення між явищами, які вивчаються.

Таким чином, кореляційний зв'язок – це неповна, ймовірнісна залежність між показниками, яка виявляється тільки в масі спостережень.

Застосування кореляційного аналізу дозволяє виконати такі завдання:

– визначити зміну результативного показника під впливом одного або декількох факторів, тобто визначити, на скільки одиниць змінюється величина результативного показника при зміні фактора на одиницю;

– установити відносний ступінь залежності результативного показника від кожного фактора.

Визначення парної кореляції передбачає обґрунтування рівняння зв'язку (підбір відповідного типу математичного рівняння, яке найкращим чином відображає характер зв'язку, що вивчається) і вимірювання тісноти зв'язку між факторним і результативним показниками за допомогою коефіцієнта кореляції.

Проте кожен фактор окремо не визначає явище, що вивчається, у всій повноті. Тільки комплекс факторів у їх взаємозв'язку може дати достатньо повне уявлення про характер явища, як вивчається. Для цього застосовують багатфакторний кореляційний аналіз, що складається з

наступних етапів:

- визначаються фактори, які впливають на показник, що вивчається, і відбираються найбільш істотні для кореляційного аналізу (при відборі факторів у першу чергу враховуються причинно-наслідкові зв'язки між показниками, оскільки тільки вони розкривають суть явищ, що вивчаються; фактори, які мають критерій надійності за Стьюдентом менший табличного, не рекомендується враховувати; всі фактори повинні бути кількісно вимірювані);

- збирається та оцінюється вихідна інформація, необхідна для кореляційного аналізу (перш за все, необхідно переконатися в достовірності інформації, наскільки вона відповідає об'єктивній дійсності; визначається однорідність досліджуваної інформації щодо її розподілу біля середнього рівня. Критерієм однорідності інформації служить середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації, які розраховуються за кожним факторним і результативним показником; визначається відповідність вихідної інформації закону нормального розподілу);

- здійснюється моделювання зв'язку між факторними і результативним показниками, тобто підбір рівняння, яке найкращим чином описує залежності, що вивчаються;

- проводиться розрахунок основних показників зв'язку кореляційного аналізу;

- дається статистична оцінка результатів кореляційного аналізу і практичне їх застосування.

Середньоквадратичне відхилення (σ) показує абсолютне відхилення індивідуальних значень (x_i) від середньоарифметичного (\bar{x}).

Коефіцієнт варіації (V) характеризує відносну міру відхилення окремих значень від середньоарифметичної. Чим більший коефіцієнт варіації, тим відносно більший розкид і менша вирівняність об'єктів, що вивчаються. Мінливість варіаційного ряду прийнято вважати незначною, якщо варіація не перевищує 10 %, середньою – якщо складає 10 – 20 %, значною – якщо вона більша 20 %, але не перевищує 33 %. Якщо ж варіація вища 33 %, то це свідчить про неоднорідність інформації і необхідність виключення нетипових спостережень, які зазвичай бувають у перших і останніх ранжованих рядах вибірки.

На підставі найвищого показника варіації можна визначити необхідний обсяг вибірки даних (n) для кореляційного аналізу за такою формулою:

$$n = \frac{V^2 \cdot t^2}{m^2}, \quad (1)$$

де t – показник надійності зв'язку, який при рівні значущості $P = 0,05$ дорівнює 1,96;

m – показник точності розрахунків (допускається помилка 5 – 8 %).

Крім того, необхідний обсяг вибірки даних може бути визначений таким чином. Обсяг вибірки даних повинен у 3 – 5 разів перевищувати число незалежних змінних (x):

$$\frac{n}{x+1} > 3 \div 5. \quad (2)$$

Згідно із законом нормального розподілу, основна маса досліджуваних відомостей за кожним показником повинна бути згрупована біля її середнього значення, а об'єкти з дуже маленькими або з дуже великими значеннями повинні зустрічатися якомога рідше.

Після відбору факторів і оцінки вихідної інформації важливим завданням у кореляційному аналізі є моделювання зв'язку між факторними і результативним показниками, тобто підбір відповідного рівняння регресії.

Для цього систематизовані організаційно-технологічні фактори піддаються кореляційному та регресійному аналізу після подання їх у вигляді парних моделей:

$$Y = f(x) \quad (3)$$

та багатофакторних моделей:

$$Y = f(x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n), \quad (4)$$

де Y – досліджуваний техніко-економічний показник;

$x_1; x_2; \dots; x_i; \dots; x_n$ – організаційно-технологічні фактори, які враховуються.

Виявлення таких залежностей в ринкових умовах набуває особливої актуальності як при організаційно-технологічному проектуванні, виробництві будівельно-монтажних робіт, так і при узгодженні взаємовідносин між підрядником і замовником. Крім того, ці моделі дають можливість виявити напрямок знаходження резервів для вдосконалення організаційно-технологічних рішень зі зведення висотних будівель в умовах ущільненої міської забудови з

метою зниження впливу несприятливих факторів.

Наведені моделі вигідні тим, що їх параметрам можна дати економічне пояснення (інтерпретацію). У лінійній моделі коефіцієнти b_i показують, на скільки одиниць змінюється результативний показник із зміною фактора на одиницю в абсолютному виразі, в степеневих і логарифмічних – у відсотках.

Розрахунок рівняння зв'язку зазвичай проводиться покроковим способом. Спочатку в розрахунок приймається один фактор, який найбільше впливає на результативний показник, потім другий, третій і т. д. На кожному кроці розраховується рівняння зв'язку, множинний коефіцієнт кореляції і детермінації, F – відношення (критерій Фішера), стандартна помилка та інші показники, за допомогою яких оцінюється надійність рівняння зв'язку. Величина їх на кожному кроці порівнюється з попередньою. Чим вища величина коефіцієнтів множинної кореляції, детермінації і критерію Фішера і чим нижча величина стандартної помилки, тим точніше рівняння зв'язку описує залежності, що склалися між досліджуваними показниками. Якщо додавання наступних факторів не поліпшить оціночних показників зв'язку, треба їх відкинути, тобто зупинитися на тому рівнянні, де ці показники найбільш оптимальні.

За наслідками аналізу відбираються залежності, які дозволяють із достатньою точністю оцінити вплив систематизованих факторів на техніко-економічні показники проекту.

За результатами дослідження та аналізу парних і багатофакторних моделей відібрані залежності, що забезпечують адекватність стану системи «проект – фактор» і характеризуються визначеністю, незалежністю всередині системи і достовірністю.

Широке застосування методів кореляційного і регресійного аналізу можливе завдяки розповсюдженню пакетів прикладних програм зі статистики, які знизили трудомісткість необхідних розрахункових процедур.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Одержувані в результаті статистичного моделювання економіко-математичні моделі обґрунтування тривалості та вартості висотного будівництва дозволяють з достатньою ймовірністю прогнозувати значення техніко-економічних показників інвестиційно-будівельних проектів завдяки врахуванню комплексного впливу організаційно-технологічних та інших факторів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки : ДБН В.1.2-12-2008. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 34 с.
2. Організація будівельного виробництва : ДБН А.3.1-5-2009. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 61 с.
3. **Балашевич В. А.** Экономико-математическое моделирование производственных систем: учеб. пособ. / В. А. Балашевич, А. М. Андронов. – Минск : Універсітэцке, 1995. – 241 с.
4. **Беринский И. И.** Вычислительная техника и проектирование технологии и организации строительства / И. И. Беринский, В. П. Николаев. – Львов : Выща шк., 1994. – 251 с.
5. **Броневицький А. П.** Організаційно-технологічне обґрунтування тривалості висотного цивільного будівництва в умовах ущільненої міської забудови : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / А. П. Броневицький. – К., 2012. – 19 с.
6. **Гриценко Ю. О.** Система нормування укрупнених показників кошторисної вартості об'єктів реконструкція житла : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 08.00.04 «Економіка та управління підприємствами (економіка будівництва)» / Ю. О. Гриценко. – К., 2007. – 17 с.
7. **Гупало О. Ю.** Методика обоснования технико-экономических показателей инвестиционных строительных проектов по возведению жилищно-гражданских объектов на стадии предпроектного анализа : дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Гупало Ольга Юрьевна. – Д., 2000. – 175 с.
8. **Гусаров В. М.** Теория статистики: Уч. пособие для вузов / В. М. Гусаров. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 247 с.
9. **Давыдов В. А.** Научно-методологические принципы обоснования организационно-технологических решений реконструкции промышленных зданий : автореф. дисс. на соискание учен. степени докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / В. А. Давыдов. – СПб., 1992. – 60 с.

10. **Данилова Т. В.** Обоснование целесообразности реконструкции жилых зданий на прединвестиционной стадии управления проектами : дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Данилова Татьяна Валентиновна. – Д., 2001. – 190 с.
11. **Дюк В.** Обработка данных на ПК в примерах / В. Дюк. – СПб. : Питер, 1997. – 240 с.
12. **Елисеева И. И.** Общая теория статистики: учебник / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 1996. – 368 с.
13. **Ефимова М. Р.** Общая теория статистики: учебник / М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев – М. : ИНФРА-М, 1998. – 416 с.
14. **Залуний В. Ф.** Проблемы управления строительством в условиях рынка / В. Ф. Залуний, Р. Б. Тян. – Д. : Наука і освіта, 1990. – 96 с.
15. **Кирнос В. М.** Научно-методологические основы организационно-технологического регулирования продолжительности и стоимости реконструкции промышленных предприятий : дисс. ... доктора техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Владимир Михайлович. – Харьков, 1994. – 351 с.
16. **Кирнос О. И.** Организационно-технологические аспекты обоснования цены на строительную продукцию : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Кирнос Олеся Ивановна. – Д., 1993. – 145 с.
17. **Кравчуновська Т. С.** Розвиток наукових основ організаційно-технологічного проектування комплексної реконструкції житлової забудови : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Т. С. Кравчуновська. – Д., 2011. – 33 с.
18. **Лантух Е. В.** Обоснование продолжительности реконструкции с учетом особенностей ее проведения на промышленных объектах : дисс. ... кандидата техн. наук : 05.23.08 / Лантух Елена Владимировна. – Д., 1992. – 217 с.
19. **Савйовський В. В.** Методологічні принципи організаційно-технологічного проектування реконструкції цивільних будівель : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / В. В. Савйовський – Харків, 2010. – 44 с.
20. **Хататбе А. А.** Обоснование продолжительности строительства жилищно-гражданских объектов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Хататбе Ахмед Али. – Д., 1993. – 167 с.

УДК 624.012.45.04

НОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЯНУТОГО БЕТОНА МЕЖДУ ТРЕЩИНАМИ СОСТАВНЫХ ВНЕЦЕНТРОННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И. А. Яковенко, к. т. н., Г. К. Биджосян***

**Национальный авиационный университет,*

***Донбасский государственный технический университет*

Ключевые слова: бетон, сопротивление, сжатые железобетонные конструкции

При внецентренном сжатии, как и при изгибе составного железобетонного элемента, его растянутая зона разделяется трещинами на участки длиной $l_{crс}$, и в сечениях с трещинами, как только они появились, растягивающие усилия воспринимаются продольной арматурой. В середине по длине составного железобетонного стержня трещины располагаются на приблизительно равных расстояниях.

В стадии II деформации сжатой и растянутой зон сечения и высота сжатой зоны по длине элемента переменны, а нейтральная ось волнообразная.

Для средних сечений, расположенных на участках между трещинами и испытывающих симметричные воздействия слева и справа, может быть принята гипотеза плоских сечений только в пределах одного из стержней, образующих составной стержень [1]. При этом в составном стержне в местах швов необходимо учитывать условные сосредоточенные сдвиги.

В теории железобетона, предложенной В. И. Мурашевым [2], а в дальнейшем и большинством исследователей, напряжения в сечении с трещиной, выраженные через деформации, принимают вид (рис. 1):