



О. О. Гудь, Н. Е. Кунанець

Національний університет "Львівська Політехніка", м. Львів, Україна

## ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯК СКЛАДОВОЇ ЧАСТИНИ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ

Зосереджено увагу на обґрунтуванні доцільності використання статистичних методів, зокрема прогнозування, для покращення процесу управління проєктами. Описано специфіку задач у процесі управління ІТ-проєктами. Розглянуто функції планування та проблему прогнозування ресурсів. Наведено приклади алгоритмів та методів прогнозування, зосереджено увагу на типових викликах, пов'язаних з їх використанням. Відображено зв'язок між розвитком інформаційних технологій та можливістю прогнозування даних. Подано прикладне значення дослідження у вигляді концепції інформаційної системи прогнозування для використання в середовищі процесу управління проєктами. Висвітлено основні переваги та складності, які притаманні розробленню такої системи. Оцінено актуальність подібних систем. Обрано сегмент процесу управління – обсяг виконуваних робіт, й розглянуто проблематику прогнозування обсягу незапланованої роботи. Виражено кількість незапланованих робіт у вигляді апаратних збоїв (інцидентів). Подано проєкт технічної підтримки апаратного забезпечення з історичними даними за два квартали як об'єкт дослідження. Досліджено залежність між кількістю інцидентів та чисельністю серверів. Застосовано метод лінійної регресії для процесу прогнозування. Охарактеризовано закономірності виникнення інцидентів залежно від змін у загальній кількості апаратних одиниць. Виконано прогностичні розрахунки та подано таблицю зі значеннями прогнозованої кількості інцидентів на наступний квартал. Відображено процес у розгорнутому вигляді, описано дії для виконання необхідних обчислень з поясненнями та послідовними кроками. Проаналізовано результати використання методу лінійного регресійного аналізу в процесі управління ІТ-проєктами для підвищення точності та планування. Доведено вплив кількості опрацьованих історичних даних на якість прогнозу. Порівняно точність прогнозування даних із результатами аналогічних попередніх досліджень. Наведено перспективи розвитку питання, галузі застосування та зроблено висновки на підставі отриманих результатів.

**Ключові слова:** управління проєктами; методи прогнозування; регресійний аналіз; ІТ; управління обсягом робіт.

### Вступ / Introduction

Одними з найважливіших задач у будь-якому проєктному менеджменті, є планування та контроль. Проєкти в галузі інформаційних технологій (ІТ) не є винятком. Від процесів постановки задач, виділення ресурсів, наприклад часу та контролю дотримання наявних планів, прямо залежить кінцевий результат і, як наслідок, успіх проєкту. Одним з найпоширеніших засобів планування є прогнозування. Саме прогнозування є важливою складовою частиною, оскільки дає змогу дізнатися, які ресурси та в якій кількості будуть потрібні для виконання проєкту. Це робить його однією з найбільш затребуваних та актуальних задач аналізу даних. Складність прогнозування залежить від терміну прогнозу та кількості факторів, які повинні бути враховані для обчислення необхідних даних. Кількість достовірних даних сильно впливає на якість результату прогнозування. Це відношення може бути сформульоване як "чим більше даних, тим вища ймовірність якісного результату", оскільки сама кількість наявних даних стосується до об'єкта про-

гнозування історичних даних не може гарантувати якісний прогноз. Зі збільшенням обсягу даних єдиним інструментом, здатним проаналізувати таку кількість та дати бажаний результат, є інформаційні технології. Тому можна зробити висновок, що за сучасних умов розвиток прогнозування напряму залежить від розвитку ІТ. Інформаційні системи прогнозування є прямим відображенням зазначеного вище зв'язку в межах статистики, математики, економетрії тощо.

Під інформаційною системою прогнозування розуміють сукупність програм, взаємопов'язаних між собою, які виконують перелік функцій, таких як отримання вхідної інформації, опрацювання та генерація результату на підставі вбудованих алгоритмів, метою яких є реалізація очікуваного прогнозу для користувача.

Практично всі ресурси, які використовуються в управлінні ІТ-проєктами, можна виразити у числовому еквіваленті, що дає змогу звести проблему прогнозування ресурсів до проблеми прогнозування екстраполяційних тенденцій. Однак через відсутність стабільної тенденції та залежність показників від побічних факторів, ця

### Інформація про авторів:

Гудь Олекса Олегович, аспірант, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: oleksa.hud@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-4298-7332>

Кунанець Наталія Едуардівна, д-р наук соц. ком., професор, кафедра інформаційних систем та мереж.

Email: nek.lviv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3007-2462>

**Цитування за ДСТУ:** Гудь О. О., Кунанець Н. Е. Доцільність застосування систем прогнозування як складової частини процесу управління ІТ-проєктами. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 3. С. 71–76.

**Citation APA:** Hud, O. O., & Kunanets, N. E. (2023). Expediency of using forecasting systems as a component of IT project management process. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(3), 71–76. <https://doi.org/10.36930/40330310>

проблема має глибший характер і може радше опиратись на систему екстраполяційних тенденцій, аніж повністю відтворити її.

Основою для прогнозування є база ретроспективних даних, які постійно поповнюються, а також комплекс моделей прогнозування, що обираються залежно від бажаного результату та методів реалізації.

Важливим моментом, який впливатиме на якість результату прогнозування, є організація процесу, така як визначення часових проміжків, встановлення переліку необхідних факторів, оцінювати розвитку процесу та його даних на підставі тенденцій і підходів прогнозування тощо. Як результат, бажаний масив даних для прогнозування буде мати словниково-подібну структуру, де ключем виступатиме позначка часу збирання, а значенням – величина певної метрики. Оскільки значення зазвичай будуть мати різні значення, основна проблема розроблення алгоритму полягатиме у відстежуванні закономірностей та виборі найбільш відповідної моделі прогнозування на підставі виявлених закономірностей, що дасть змогу зробити якісний прогноз на підставі наявних даних. Результати ефективного прогнозування включатимуть покращення точності, підвищення ефективності процесу прийняття рішень, зниження затрат та покращене планування.

Отже, розроблення подібних інформаційних систем є актуальним та необхідним не тільки в ІТ-галузі, але й у будь-якому проєктному менеджменті, де планування відіграє ключову роль. Інформаційна система з елементами прогнозування дасть змогу покращити ефективність управління ресурсами, зменшити витрати, підвищити точність прогнозування та знизити ризики прийняття неправильних рішень.

*Об'єкт дослідження* – застосування систем прогнозування у процесі управління ІТ-проєктами.

*Предмет дослідження* – методи та засоби прогнозування кількості незапланованої роботи в процесі управління ІТ-проєктами.

*Мета роботи* – довести доцільність використання методів системи прогнозування для підвищення ефективності планування ресурсів у процесі управління ІТ-проєктами.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати останні публікації на теми стосовно цього дослідження, таких як "Інформаційні системи у менеджменті", "Методи прогнозування", "Незапланована робота" тощо.
2. Розробити концепцію прикладного використання процесу прогнозування проєктним менеджером у галузі інформаційних технологій та обрати алгоритм, який здатен зреалізувати мету роботи.
3. Використовуючи зразок масиву історичних даних з ІТ-проєкту, виконати розрахункові роботи згідно з обраним методом прогнозування для підрахунку очікуваної кількості незапланованої роботи на проєкті.
4. Порівняти прогнозовані значення із спостережуваними показниками проєкту.
5. Оцінити отримані методом прогнозування результати та зробити висновок про доцільність використання обраного алгоритму для досягнення мети.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Використання інформаційних систем на підставі прогнозування для процесу планування у компаніях є доволі поширеною практикою. Зокрема, науковці R. Fildes та

P. Goodwin у роботі [4] описують застосування систем прогнозування в компаніях ланцюгового постачання. І хоча автори фокусуються на проблематиці належного використання згаданих систем безпосередньо на практиці, їх використання як таке виступає твердженням без потреби доведення. Вплив інформаційних систем менеджменту на організації дослідили також пакистанські професори A. G. Awan та F. Khan у дослідженні [3], де оцінили використання інформаційних систем у менеджменті як "дуже допоміжні" та надали рекомендації на імплементацію таких систем у будь-яку організацію, яка бажає залишатися конкурентоспроможною. Також застосування інформаційних технологій у реаліях сучасного менеджменту дослідили автори Н. Ю. Олійник, Г. М. Мокрицька та І. Г. Рошнін [11], де в ході аналізу підтверджено актуальність та вплив ІТ на результативність процесів менеджменту.

Конкретно питання інформаційних систем із здатністю прогнозування порушують доктор A. K. Mahmud та M. Vijayakumar [9], де розглядають застосування нейронних мереж у ролі алгоритму для багатопараметричного прогнозування завантаженості енерготоргівельної компанії у Лівії залежно від погодних умов.

Щодо сфери менеджменту, проблематиці прогнозування приділяють увагу переважно в контексті економіки та маркетингу, наприклад дослідження про ревеню-менеджмент науковці A. Мазаракі, М. Кулик та М. Бойко [10], де проведено аналітичну та теоретичну оцінку методів прогнозування у системі підприємства готельного господарства. Також аналіз наукового прогнозування на засадах маркетингу виконав A. С. Росохата [12], де прогнозування також виступало суто економічним інструментом за умов постійних змін та модернізації ринку.

Обраний предмет дослідження згадано також у роботах E. Jang, M. Jonson, E. Burnell, K. Heimerl [7], де порушено питання підтримки технологічної спроможності та збоїв основних складових частин ІТ-індустрії а саме, апаратного та програмного забезпечень, які призводять до незапланованої витрати ресурсів. У дослідженні K. Sollander та A. Engström [13] розглянуто специфіку виконання незапланованої роботи з погляду менеджменту та проаналізовано фактори, що впливають на утворення як такої.

З огляду на те, що в дослідженнях акцентується увага на залежність показника незапланованої роботи від зовнішніх чинників, як метод прогнозування обрано метод регресійного аналізу. Проаналізувавши наукові статті, з'ясовано, що цей метод має широке застосування, та відокремлено або в комплексі вдало використовувався у процесі прогнозування таких показників, як попит запасних частин для автобусного парку [6], курс обміну валют [14], обсяг твердих відходів [5] а також в управлінні підприємством [2], де якість прогнозу залежала від додаткових факторів.

Зважаючи на успішне застосування методів регресійного аналізу для прогнозування показників у різних сферах, доцільно вважати, що регресійний аналіз може використовуватись інформаційною системою прогнозування в управлінні ІТ-проєктами для того, щоб передбачати обсяг незапланованої роботи, у такий спосіб ставши елементом управління обсягом виконуваних робіт, і, як наслідок, складовою частиною процесу управління ІТ-проєктами загалом.

## Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Незапланованою роботою в управлінні обсягом робіт проекту вважаються ті задачі, виникнення яких неможливо було передбачити. Прикладами такої роботи зазвичай є збої або поломки систем, що використовуються в середовищі створення або підтримки програмного продукту. Зважаючи на це, логічно припустити залежність кількості незапланованої роботи від кількості вузлів систем інфраструктури обслуговування деякого програмного продукту.

За приклад взято проект підтримки апаратного забезпечення, який налічує понад 8 тис. серверів. Відповідні дані наведено в табл. 1.

**Табл. 1.** Кількісні показники серверів та інцидентів /  
Quantification of servers and incidents

| Місяць        | Кількість серверів | Кількість інцидентів |
|---------------|--------------------|----------------------|
| 2022 Серпень  | 7377               | 65                   |
| 2022 Вересень | 7434               | 47                   |
| 2022 Жовтень  | 7532               | 63                   |
| 2022 Листопад | 8053               | 81                   |
| 2022 Грудень  | 8165               | 84                   |
| 2023 Січень   | 8461               | 80                   |

У такому разі залежною змінною буде кількість незапланованої роботи (інцидентів), а незалежною – кількість серверів, що знаходяться на підтримці команди проекту. Беручи до уваги такі умови, доцільно використати метод простої лінійної регресії.

У прогнозуванні кількості інцидентів за допомогою методу простої лінійної регресії, формула прогнозу матиме такий вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon, \quad (1)$$

де:  $Y$  – залежна змінна (кількість інцидентів);  $X$  – незалежна змінна (кількість серверів на обслуговуванні);  $\beta_0$  – перехоплення (інтерсепт);  $\beta_1$  – коефіцієнт регресії (вплив змінної  $X$  на змінну  $Y$ );  $\varepsilon$  – помилка моделі.

Інтерсепт (інтерцепта) у регресійній моделі є початковим значенням залежної змінної ( $Y$ ), коли всі незалежні змінні ( $X$ ) дорівнюють нулю. Отже, інтерсепт визначає значення  $Y$ , коли немає впливу незалежних змінних.

У формулі прогнозування регресії, інтерсепт (позначений як  $\beta_0$ ) є коефіцієнтом, який враховує початкове значення залежної змінної. Вона відображає вертикальний зсув (підйом або опускання) лінії регресії на графіку. Інтерсепта розраховується за формулою:

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \cdot \bar{X}. \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнта регресії потрібно обчислити середні значення для залежної змінної ( $Y$ ) і кожної незалежної змінної ( $X$ ). Далі обчислити розбіжності, а саме відняти середнє значення залежної змінної ( $Y$ ) від кожного спостережуваного значення  $Y$  і середнє значення відповідної незалежної змінної ( $X$ ) від кожного спостережуваного значення  $X$ . Обчислити коваріацію за такою формулою:

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n dx_i dy_i, \quad (3)$$

де  $\Sigma$  позначає суму від спостереження  $i = 1$  до  $n$ ,  $dx_i/dy_i$  – значення розбіжності (різниця між показником під час  $i$ -го спостереження та середнім арифметичним значенням).

Обчислимо дисперсію за такою формулою

$$D(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n dx_i^2, \quad (4)$$

де  $dx_i$  – значення розбіжності (різниця між показником під час  $i$  спостереження та середнім арифметичним значенням).

Маючи значення коваріації та дисперсії можна розрахувати коефіцієнт регресії за формулою

$$\beta_1 = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{D(X)}. \quad (5)$$

$\varepsilon$  – помилка моделі, розподіл якої в загальному випадку залежить від незалежних змінних, але математичне очікування якої дорівнює нулю. Використовується середня квадратична помилка (MSE) і вираховується на підставі кореляції попередніх результатів прогнозувань та фактичних значень показників за формулою

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_p - Y_i)^2, \quad (6)$$

де:  $n$  позначає суму спостережень;  $Y_p$  – прогнозований показник;  $Y_i$  – фактичний показник.

Параметри моделі налаштовуються так, щоб модель найкраще наближалася до вхідних даних. Критерієм якості прогнозу вважається середня квадратична помилка (англ. *Mean Squared Error*, MSE). Що менше значення MSE, тим краще модель лінійної регресії пасує до даних. Значення MSE може бути від нуля до нескінченності, де нуль означає ідеальну узгодженість між прогнозованими та спостережуваними значеннями. Однак для обчислення помилки моделі потрібно враховувати прогнозовані значення та спостережувані. За початкового аналізу та першої спроби прогнозу даних значення помилки прирівнюються до нуля через відсутність членів необхідних прорахунків.

Проте MSE має квадратичну одиницю виміру, що може бути неінтерпретованою в контексті конкретної задачі. Тому часто також використовують інші метрики, такі як середня абсолютна помилка, коефіцієнт детермінації або середня відносна помилка, залежно від конкретної задачі. На підставі формул побудуємо табл. 2.

**Табл. 2.** Кількісні показники серверів та інцидентів з калькуляцією елементів регресійного аналізу / Quantification of servers and incidents with calculation of regression analysis elements

| Місяць        | Кількість серверів ( $X$ ) | Кількість інцидентів ( $Y$ ) | Розбіжність $X(dx_i)$ | Розбіжність $Y(dy_i)$ |
|---------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 2022 Серпень  | 7377                       | 65                           | -460                  | -5                    |
| 2022 Вересень | 7434                       | 47                           | -403                  | -23                   |
| 2022 Жовтень  | 7532                       | 63                           | -305                  | -7                    |
| 2022 Листопад | 8053                       | 81                           | 216                   | 11                    |
| 2022 Грудень  | 8165                       | 84                           | 328                   | 14                    |
| 2023 Січень   | 8461                       | 80                           | 624                   | 10                    |

Знайдемо коваріацію за допомогою формули (3):

$$\text{Cov}(X, Y) = ((-460) \times (-5) + (-403) \times (-23) + (-305) \times (-7) + 216 \times 11 + 328 \times 14 + 624 \times 10) / 5 = 5382,4.$$

Знайдемо дисперсію на підставі розбіжностей  $X$  за допомогою формули (4):

$$D(X) = ((-460)^2 + (-403)^2 + (-305)^2 + 216^2 + 328^2 + 624^2) / 5 = 202130.$$

Обчислимо коефіцієнт регресії, використовуючи для цього формулу (5):



$$\beta_1 = \frac{5382,4}{202130} = 0,02663.$$

Отримавши значення коефіцієнта регресії  $\beta_1$ , за допомогою формули (2), розрахуємо інтерцепт  $\beta_0$ :

$$\beta_0 = 70 - 0,02663 \cdot 7837 = -138,687.$$

Для того, щоб вивести помилку моделі  $\epsilon$ , на підставі формули простої лінійної регресії (1), обрахуємо прогнозовану кількість інцидентів за два квартали використовуючи спостережувані показники кількості серверів. У такому разі, обчислення кількості прогнозованих інцидентів за серпень 2022 р. буде мати такий вигляд:

$$Y = -138,687 + 7377 \times 0,02663 = 57,7509.$$

Застосувавши аналогічні обрахунки до решти показників, отримаємо результати, що відображені в табл. 3.

**Табл. 3.** Порівняння спостережених показників кількості інцидентів з прогнозованими, при  $\epsilon = 0$  / Comparison of the observed number of incidents with the predicted ones, when  $\epsilon = 0$

| Місяць        | Кількість серверів (X) | Спостережена кількість інцидентів ( $Y_i$ ) | Спрогнозована кількість інцидентів ( $Y_p$ ) | Квадрат різниці показників ( $Y_p - Y_i$ ) <sup>2</sup> |
|---------------|------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 2022 Серпень  | 7377                   | 65                                          | 57,75093                                     | 52,54898                                                |
| 2022 Вересень | 7434                   | 47                                          | 59,26875                                     | 150,5223                                                |
| 2022 Жовтень  | 7532                   | 63                                          | 61,87834                                     | 1,258131                                                |
| 2022 Листопад | 8053                   | 81                                          | 75,75174                                     | 27,54427                                                |
| 2022 Грудень  | 8165                   | 84                                          | 78,73412                                     | 27,72952                                                |
| 2023 Січень   | 8461                   | 80                                          | 86,61613                                     | 43,77313                                                |

Отримавши показники як прогнозу так і спостережуваних даних, тепер є можливість обрахувати середню квадратичну помилку моделі, використовуючи для цього формулу (5):

$$\epsilon = (52,54898 + 150,5223 + 1,258131 + 27,54427 + 27,72952 + 43,77313) / 6 = 18,45.$$

У такий спосіб отримано всі складники формули простої лінійної регресії, а саме: показники коефіцієнта регресії, інтерцепту та помилку моделі на підставі історичних даних за два квартали (зі серпня 2022 р. по січень 2023 р.). Розглядаємо проект, на якому збільшення кількості апаратних одиниць є суто плановим і передбаченим. Завдання регресійної моделі – прогноз кількості очікуваних інцидентів, відштовхуючись від запланованого збільшення інфраструктури проекту.

**Табл. 4.** Результат прогнозування кількості інцидентів методом простого лінійного регресійного аналізу / The result of forecasting the number of incidents using a simple linear regression analysis

| Місяць        | Кількість серверів | Спостережена кількість інцидентів ( $Y_i$ ) | Прогнозована кількість інцидентів ( $Y_p$ ) | Точність прогнозу, % |
|---------------|--------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| 2022 Серпень  | 7377               | 65                                          |                                             |                      |
| 2022 Вересень | 7434               | 47                                          |                                             |                      |
| 2022 Жовтень  | 7532               | 63                                          |                                             |                      |
| 2022 Листопад | 8053               | 81                                          |                                             |                      |
| 2022 Грудень  | 8165               | 84                                          |                                             |                      |
| 2023 Січень   | 8461               | 80                                          |                                             |                      |
| 2023 Лютий    | 8721               | 95                                          | 112                                         | 84,82                |
| 2023 Березень | 8981               | 123                                         | 119                                         | 96,64                |
| 2023 Квітень  | 9241               | 114                                         | 126                                         | 90,48                |

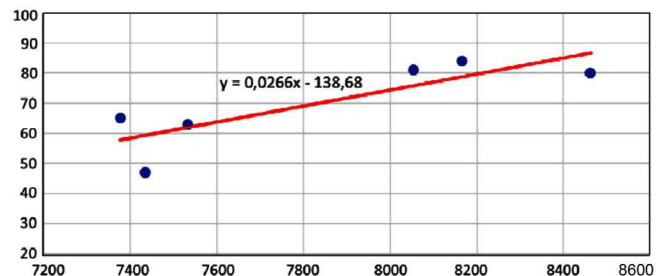
За наступний квартал (від лютого 2023 р. по травень 2023 р.) було заплановано додавати по 260 серверів що-

місяця до інфраструктури проекту. Було спрогнозовано кількість інцидентів на ці три місяці. Результати прогнозу, а також відсоток точності показано у табл. 4.

До прикладу, обчислення показника кількості за лютий 2023 р., за допомогою формули (1), матиме такий вигляд:

$$Y = -138,687 + 8721 \times 0,02663 + 18,45 = 111,9895122 \approx 112.$$

Використовуючи історичні дані спостережуваних показників за два попередні квартали, діапазон точності становить 84,82-96,64 %. Зображено візуальне представлення першої моделі графіком (рис. 1).



**Рис. 1.** Графік лінійної регресії на підставі першої моделі / Linear regression graph based on the first model

Варто зазначити, що точність прогнозованих даних зростає з кількістю історичних даних, використаних для знаходження коефіцієнта регресії.

Для того, щоб продемонструвати вплив кількості історичних даних, які використовуються для побудови моделі на кінцевий прогноз, у табл. 5 наведено розрахунки із додатковим масивом даних для аналізу, а саме додатковий квартал.

**Табл. 5.** Результат прогнозування кількості інцидентів методом регресійного аналізу з додатковим масивом / Result of forecasting the number of incidents by regression analysis with an additional array

| Місяць        | Кількість серверів | Спостережена кількість інцидентів ( $Y_i$ ) | Розбіжність |           | Прогнозована кількість інцидентів ( $Y_p$ ) | Точність прогнозу, % |
|---------------|--------------------|---------------------------------------------|-------------|-----------|---------------------------------------------|----------------------|
|               |                    |                                             | $X(dx_i)$   | $Y(dy_i)$ |                                             |                      |
| 2022 Травень  | 6521               | 46                                          | -1011       | -18       |                                             |                      |
| 2022 Червень  | 7078               | 55                                          | -454        | -9        |                                             |                      |
| 2022 Липень   | 7167               | 55                                          | -365        | -9        |                                             |                      |
| 2022 Серпень  | 7377               | 65                                          | -155        | 1         |                                             |                      |
| 2022 Вересень | 7434               | 47                                          | -98         | -17       |                                             |                      |
| 2022 Жовтень  | 7532               | 63                                          | 0           | -1        |                                             |                      |
| 2022 Листопад | 8053               | 81                                          | 521         | 17        |                                             |                      |
| 2022 Грудень  | 8165               | 84                                          | 633         | 20        |                                             |                      |
| 2023 Січень   | 8461               | 80                                          | 929         | 16        |                                             |                      |
| 2023 Лютий    | 8721               | 95                                          |             |           | 102                                         | 93,14                |
| 2023 Березень | 8981               | 123                                         |             |           | 107                                         | 85,05                |
| 2023 Квітень  | 9241               | 114                                         |             |           | 113                                         | 99,12                |

У такому разі, розраховуючи дані на підставі історичних даних за три квартали з травня 2022 р. по січень 2023 р., компоненти формули простої лінійної регресії матимуть такі значення:

$$\text{Інтерцепт } (\beta_0) = -103,113196.$$

$$\text{Коефіцієнт регресії } (\beta_1) = 0,022187095.$$

$$\text{Помилка моделі } (\epsilon) = 11,2.$$

Створено візуальне представлення другої моделі графіком (рис. 2). Гіпотеза про те, що якість прогнозу зростає у разі збільшення кількості історичних даних для побудови моделі регресійного аналізу, підтверджується двома фактами: по-перше, діапазон точності

прогнозу в другій моделі становить 85,05–99,12 %, порівняно з минулою, діапазон точності якої становить 84,82–96,64 %. По-друге, помилка моделі має значення 11,2, і є ближчою до нуля, ніж помилка попередньої моделі – 18,45.

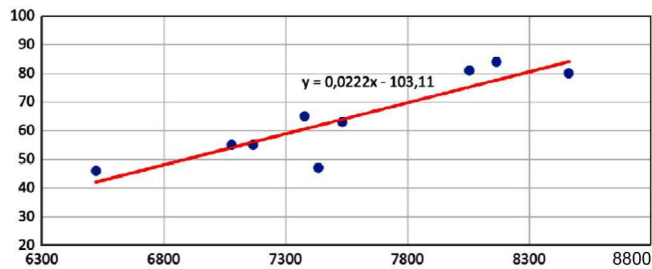


Рис. 2. Графік лінійної регресії на підставі другої моделі / Linear regression graph based on the second model

Графічне відображення порівняння результатів прогнозів, отриманих першою та другою моделями регресії, подано на рис. 3.

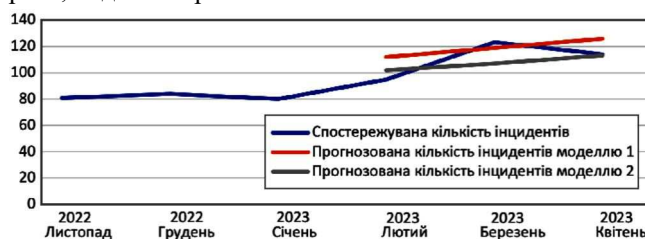


Рис. 3. Порівняння моделей прогнозу кількості інцидентів / Incident number forecasting models comparison

**Обговорення результатів дослідження.** Питання прогнозування активно досліджували впродовж останніх десятиліть у галузі менеджменту. Однак зазвичай напрямками досліджень були фінансові та маркетингові складники. Через відсутність прямих аналогів публікацій про застосування регресійного аналізу для прогнозування кількості незапланованої роботи – неможливо напряму виконати порівняння. Проте, як згадувалося у дослідженні, у роботах [2, 5, 6, 14] метод лінійної регресії використовувався в інших галузях, де прогнозувалися показники, що залежали від факторів. Кореневим чинником утворення незапланованої роботи в дослідженні є апаратні збої, на частоту яких впливає кількість одиниць апаратного забезпечення. Тобто проблематика прогнозування технічних збоїв може вважатись аналогічною питанню, порушеному в цьому дослідженні. Для прогнозу збоїв апаратного забезпечення проводять активні дослідження в галузі машинного навчання. Автори N. Kolokas, T. Vafeiadis, D. Ioannidis та D. Tzovaras, [8] до прикладу, проводили дослідження прогнозування апаратних збоїв індустріального обладнання, використовуючи класифікатори машинного навчання та отримавши показник точності прогнозу від 92 до 99,2 %.

Однак лінійну регресію також прямо або посередньо застосовували в дослідженнях прогнозування збоїв залежно від кількості обладнання. Наприклад, A. Aktepe, E. Yanik та S. Ersöz [1] розглядають концепцію застосування лінійної регресії для прогнозування попиту на запчастини до машин конструкцій з огляду на кількість проданих. Двоє із згаданих науковців A. Aktepe та S. Ersöz, а також M. İfraz, T. Çetinyokuş [6] провели ще одне дослідження, яке можна вважати найбільш наближеним до розглянутого в цій роботі, у частині, де автори методом регресійного аналізу прогнозують кількість потрібних автозапчастин, а отже – збоїв транспорту за-

лежно від кількості авто, що використовуються. Найнижчий показник точності прогнозу попиту на запчастини – 77 %, найвищий – 100 %.

Використовуючи метод лінійного регресійного аналізу, в цьому дослідженні найнижчий показник точності – 85,05 % і найвищий – 99,12 %, використовуючи історичні дані за три попередні квартали. Судячи з результатів, кількість серверів нерівномірно впливає на кількість інцидентів, проте якісного прогнозу можна досягти використовуючи більший обсяг історичних даних.

Отже, за результатами виконаної роботи можна сформулювати наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

*Наукова новизна отриманих результатів дослідження* – розроблено алгоритм прогнозування кількості незапланованої роботи на підставі методу регресійного аналізу для вдосконалення процесів управління обсягом виконуваної роботи та планування загалом у контексті проектного менеджменту ІТ-галузі.

*Практична значущість результатів дослідження* – описана концепція інформаційної системи, застосовуючи метод прогнозування, підвищує ефективність функції планування ресурсів як інструменту, що використовується в процесі управління проектами, і здатна знизити ризик прийняття неправильних рішень.

## Висновки / Conclusions

Проаналізовано наявні приклади застосування методів прогнозування в різноманітних областях сфери менеджменту. Наведено гіпотезу про доцільність використання систем прогнозування, на підставі методів регресійного аналізу в процесі управління ІТ-проектами та доведено її під час виконання роботи.

За результатами виконаного дослідження можна зробити такі основні висновки:

1. Висвітлено специфіку задач у процесі управління ІТ-проектами та представлено концепцію інформаційної системи прогнозування для використання в середовищі управління проектами, висвітлено основні переваги та складності.
2. Проаналізовано дотичні до теми роботи публікації, наведено приклади успішних застосувань систем прогнозування в різних галузях та доведено актуальність дослідження.
3. Представлено предмет дослідження, яким є ІТ-проект підтримки апаратного забезпечення та історичні дані за чотири квартали з травня 2022 р. по квітень 2023 р., на підставі яких, використовуючи метод регресійного аналізу, прогнозовано кількість апаратних збоїв, відображено закономірність зростання кількості інцидентів від збільшення загальної чисельності апаратного забезпечення.
4. Описано в розгорнутому вигляді хід розрахунків, проведено порівняння прогнозованих показників із спостережуваними та доведено залежність якості прогнозу від обсягу історичних даних, на які процес опирається.
5. Проаналізовано результати використання методів прогнозування, таких як метод лінійного регресійного аналізу, в процесі управління ІТ-проектами для підвищення точності планування, доведено їх доцільність у використанні та наведено перспективи розвитку питання, галузі застосування.

## References

1. Aktepe, A., Yanik, E., & Ersöz, S. (2021). Demand forecasting application with regression and artificial intelligence methods in a construction machinery company. *Journal of Intelligent Manu-*

- facturing, 32(6), 1587–1604. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01737-8>
2. Begun, S., & Voroniuk, A. (2020). Application of correlation-regression analysis in enterprise management. *Young Scientist*, 4(80). <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-57>
  3. Dr. Awan, A. G., & Khan, F. (2016). Impact of Management Information System on the Performance of the Organization (Profitability, Innovation, and Growth). *Journal of Poverty, Investment and Development*, 21.
  4. Fildes, R., & Goodwin, P. (2021). Stability in the inefficient use of forecasting systems: A case study in a supply chain company. *International Journal of Forecasting*, 37(2), 1031–1046. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.11.004>
  5. Ghinea, C., Drăgoi, E. N., Comăniță, E. D., Gavrilăscu, M., Câmpăan, T., Curteanu, S., & Gavrilăscu, M. (2016). Forecasting municipal solid waste generation using prognostic tools and regression analysis. *Journal of Environmental Management*, 182, 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.026>
  6. İfraz, M., Aktepe, A., Ersöz, S., & Çetinyokuş, T. (2023). Demand forecasting of spare parts with regression and machine learning methods: Application in a bus fleet. *Journal of Engineering Research*, 11(2). <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100057>
  7. Jang, E., Johnson, M., Burnell, E., & Heimerl, K. (2017). Unplanned Obsolescence. Proceedings of the 2017 Workshop on Computing Within Limits. <https://doi.org/10.1145/3080556.3080566>
  8. Kolokas, N., Vafeiadis, T., Ioannidis, D., & Tzovaras, D. (2018). Forecasting faults of industrial equipment using machine learning classifiers. 2018 *Innovations in Intelligent Systems and Applications* (INISTA). <https://doi.org/10.1109/inista.2018.8466309>
  9. Mahmoud, A., & Vijayakumar, M. (2013). Information System for Forecasting Processes Based on Unsupervised, Supervised Neural Networks. Semantic Scholar. Corpus ID: 8082031.
  10. Mazaraki, A., Kulyk, M., & Boyko, M. (2022). Forecasting in revenue management. *Herald of Kyiv National University of Trade and Economics*, 144(4), 4–15. [https://doi.org/10.31617/1.2022\(144\)01](https://doi.org/10.31617/1.2022(144)01)
  11. Oliynyk, T., Mokrytska, H. & Roschyn, I. (2021). Application of information technologies in modern management. Measuring and computing equipment in technological processes, 1, 105–112. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2021-67-1-15>
  12. Rosohata, A. (2012). Analysis of the theoretical foundations of scientific forecasting on the basis of marketing. *Marketing and innovation management*, 2, 99–111.
  13. Sollander, K., & Engström, A. (2021). Unplanned managerial work: an ambidextrous learning potential. *Studies in Continuing Education*, 44(3), 441–459. <https://doi.org/10.1080/0158037x.2021.1874903>
  14. Wada, T. (2022). Out-of-sample forecasting of foreign exchange rates: The band spectral regression and LASSO. *Journal of International Money and Finance*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2022.102719>

**O. O. Hud, N. E. Kunanets**

*Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

## **EXPEDIENCY OF USING FORECASTING SYSTEMS AS A COMPONENT OF IT PROJECT MANAGEMENT PROCESS**

The study focuses on justification of the expediency of using statistical methods, in particular forecasting, to improve the project management process. In order to prove the relevance of the study, challenges in the process of IT project management are described. The planning function and the problem of forecasting resources are considered. Examples of algorithms for forecasting methods are given, and typical challenges in using them are described. In particular, the paper shows the connection between the development of information technology and the ability to forecast data. The concept of a forecasting information system for implementation in the project management environment is presented as application value of the study. Main advantages and challenges inherent in the development of system mentioned are highlighted. Moreover, the relevance of such systems is assessed. We considered a segment of the project management – workload management process. Namely, the study focuses on the problem of forecasting the amount of unplanned work. The paper presents a hardware support project with historical data for two quarters as an object of study. The connection between number of incidents and hardware devices quantity is investigated. A linear regression analysis to perform forecast is applied. The patterns of incidents depending on changes in the total number of hardware units are characterized. Calculations are performed, and also a table with the forecasted quantity of incidents for the next quarter is presented. The whole process is presented in a detailed form, describing the actions needed to perform the necessary calculations, explanations, and sequential steps. Moreover, the results of using forecasting methods, such as linear regression analysis, in IT project management to improve accuracy and planning, are evaluated. The influence of the amount of processed historical data on the quality of the forecast is justified. The comparison of the forecast accuracy between data retrieved and recent similar studies results is performed. Some prospects of further investigations on forecasting systems, areas of its application, usage and conclusions based on the research are presented.

**Keywords:** project management; forecasting methods; regression analysis; IT; scope management.