

ІНДИКАТОРНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ БУДІВНИЦТВА З УРАХУВАННЯМ КОШТОРИСНОЇ ДИНАМІКИ

© *І.І. Онофрійчук, А.В. Росинський, 2025*

У контексті сучасних викликів сталого розвитку та зростання вартості енергоресурсів, проблема ефективного управління енергоспоживанням набуває особливої актуальності для будівельної галузі [1 – 3]. Підрядні будівельні організації функціонують в умовах складної динаміки виробничих процесів, що характеризуються значними коливаннями в інтенсивності споживання різних видів енергії на різних етапах реалізації проєктів [4]. Ключовою специфікою є часовий розрив між фактичним використанням енергоресурсів та надходженням коштів від замовників, що створює потенційні ризики для ліквідності та фінансової стійкості підприємств. Традиційні інструменти фінансового аналізу, орієнтовані здебільшого на агреговані показники, часто не відображають істотної залежності фінансового стану будівельного підприємства від ефективності управління його енергетичними витратами на окремих виробничих етапах. Це зумовлює нагальну потребу в розробці нових, більш чутливих підходів до управління, здатних інтегрувати енергоспоживання та фінансовий менеджмент у режимі реального часу.

Для задоволення потреб підрядних будівельних організацій нами пропонується концепція інтелектуальної системи енергоменеджменту будівництва. Вона полягає у створенні комплексної інформаційно-аналітичної платформи, яка забезпечує безперервний збір, обробку та аналіз даних про енергоспоживання на кожному етапі будівельного проєкту, а також їхню інтеграцію з інформацією про фінансові надходження та витрати підприємства. Це дозволяє не тільки здійснювати оперативний моніторинг фактичних енергетичних витрат у контексті окремих видів робіт, але й прогнозувати потенційні фінансові ризики, пов'язані з неефективним енергоспоживанням або затримками у розрахунках за виконані роботи. Своєчасне виявлення таких ризиків надає можливість управлінському персоналу приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації процесів, перерозподілу фінансових ресурсів та мінімізації негативного впливу на економічну безпеку підприємства.

Методологічною основою дослідження є поглиблений аналіз нормативно-кошторисної документації, яка є первинним джерелом інформації про планові обсяги споживання матеріальних та енергетичних ресурсів на різних етапах будівельного виробництва. Bazуючись на його результатах, ідентифіковано три ключові індикаторні змінні, які мають найсуттєвіший вплив на динаміку енергоспоживання та пов'язані з нею фінансові потоки: частковий приріст кошторисної вартості будівельних матеріалів, виробів, комплектів; частковий приріст кошторисної вартості будівельно-монтажних робіт у розрізі окремих конструктивних елементів; та частковий приріст нормативно-розрахункової трудомісткості виконання робіт [3]. Для кожної з цих індикаторних змінних визначено не лише їхню економічну сутність, але й запропоновано методи їх кількісного вимірювання та встановлення контрольних порогових значень, перевищення або наближення до яких слугуватиме об'єктивним сигналом для проведення детального аналізу та впровадження коригувальних заходів у системі енергоменеджменту [3].

Результати дослідження динаміки споживання ресурсів у тісному зв'язку з технологічними картами виконання будівельних робіт на об'єктах різної складності підтверджують нелінійний та дискретний характер зростання енергетичних витрат. Інтенсивність споживання енергії на конкретному етапі будівельного процесу виявляє тісну кореляцію зі змінами кошторисної вартості використаних матеріалів, обсягом виконаних робіт та рівнем залучення трудових ресурсів. Виявлення статистично значущих коефіцієнтів кореляції між частковими приростами різних видів ресурсів та вартістю створюваної будівельної продукції є важливим аргументом на користь їхнього комплексного аналізу в рамках розробленої системи контролінгу енергоефективності. Такий підхід дозволяє не

лише фіксувати фактичне зростання енергетичних витрат, але й ідентифікувати конкретні види робіт або типи ресурсів, які є основними чинниками цього зростання, що є критично важливим для розробки цілеспрямованих заходів з енергозбереження.

Для забезпечення ефективної обробки та інтерпретації отриманих даних про динаміку ключових індикаторних змінних застосовано кластерний аналіз на основі методу k-середніх. Цей метод дозволяє виявити приховані закономірності та типові сценарії співвідношення між обраними індикаторними змінними, а також класифікувати різні етапи будівельних робіт за рівнем енергоємності та впливом на фінансові потоки підприємства. Результати кластерного аналізу слугують основою для формування обґрунтованих лінгвістичних змінних (нечітких термів), які якісно описують різні рівні енерговитрат та фінансових можливостей. Подальша обробка цих нечітких термів здійснюється за допомогою апарату теорії нечітких множин, що надає можливість адекватно моделювати властиву будівельному виробництву невизначеність, нечіткість та суб'єктивність експертних оцінок. Застосування різних типів функцій належності, логічних операцій над нечіткими множинами та гнучких правил нечіткого логічного виводу забезпечує розробку адаптивного та ефективного інструментарію для підтримки прийняття управлінських рішень в складних та динамічних умовах.

Підсумком наукового дослідження є розробка п'ятиетапного алгоритму цифровізованого контролю енергоспоживання підрядними будівельними підприємствами [3]. Перший етап алгоритму передбачає ретельну структурування будівельних робіт на основі кошторисної документації, з урахуванням всіх видів ресурсів та робіт, необхідних для реалізації проекту. Другий етап полягає в точному розрахунку питомої ваги кожної окремої роботи в загальній кошторисній вартості будівельного проекту, що дозволяє об'єктивно оцінити її внесок у формування виробничої собівартості та визначити потенційні резерви для оптимізації фінансових потоків. Третій етап включає обчислення часткових приростів вартості основних будівельних матеріалів та нормативно-розрахункової трудомісткості. На четвертому етапі для кожної ідентифікованої складової визначається кількісна міра належності до відповідних нечітких термів. П'ятий етап алгоритму передбачає прийняття обґрунтованого рішення про необхідність посилення контролю за енергоспоживанням на основі логічного правила, яке комплексно враховує комбінацію значень міри належності для всіх розглянутих індикаторних змінних [3].

Практична значущість розробленого алгоритму полягає в його потенційній доступності та зручності використання для широкого кола фахівців економічних служб та управлінського персоналу будівельних підприємств, навіть за умови відсутності глибоких спеціалізованих знань у галузі інформаційних технологій. Водночас закладені в основу алгоритму фундаментальні наукові принципи та отримані емпіричні залежності створюють міцну науково-технічну базу для подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття обґрунтованих рішень у сфері енергоменеджменту та створення повноцінних систем штучного інтелекту, здатних до автономного та проактивного управління енергоспоживанням на підрядних будівельних підприємствах.

Список літератури:

1. Росинський А.В., Онофрійчук І.І. Енергоефективність будівельного виробництва як інструмент розвитку економічного потенціалу девелоперської компанії. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. № 44. С. 31 – 39.
2. Савицький О.М., Спиридоненков В.А., Циганкова С.Г. Інноваційна система енергоменеджменту ЖК "Панорама" у м. Дніпро. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 1 (019). С. 130 – 141.
3. Онофрійчук І.І., Росинський А.В. Обґрунтування складових цифровізованого інструментарію контролю енергоспоживання підрядними підприємствами. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2025. № 55 (1). С. 259 – 272.
4. Козик В.В., Марко О.Й. Організаційні засади формування енергоефективності об'єктів житлового будівництва. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 4 (51). С. 435 – 440.