

Методика інтеграції *Balanced Scorecard* у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проєктів

Предметом дослідження є методика інтеграції *Balanced Scorecard* (BSC) у процес кластеризації стейкхолдерів житлових будівельних проєктів, що поєднує концептуальні, аналітичні та математичні інструменти стратегічного управління. Особлива увага приділяється адаптації класичних перспектив BSC — фінансової, клієнтської, внутрішніх процесів та навчання і розвитку — до умов житлового девелопменту, де значна кількість стейкхолдерів формує багатовекторні, часто конфліктні структури інтересів. Предметом є також формалізація поведінкових характеристик стейкхолдерів, розроблення моделей функцій корисності, оцінювання сили впливу, побудова кластерів та їх інтеграція у стратегічні карти BSC.

У рамках предметної області досліджується застосування мультикритеріальних методів кластеризації, мультиагентного моделювання, нечіткої логіки, *Data Mining*, *Business Intelligence*, стохастичного програмування та симуляційних платформ. Аналіз охоплює також питання узгодження інтересів різних груп стейкхолдерів і перетворення цих інтересів на системні показники ефективності проєкту. Предметом дослідження є і складні залежності між стейкхолдерами, що впливають на фінансову стійкість, соціальну акцептацію, ритмічність будівництва та рівень конфліктогенності проєктного середовища.

Метою статті є розроблення методичного підходу до інтеграції системи *Balanced Scorecard* у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проєктів, що забезпечує узгодженість стратегічних цілей, параметрів ефективності та багатофакторних інтересів. Стаття покликана сформулювати підґрунтя для побудови адаптивної багаторівневої моделі управління, яка враховує поведінку стейкхолдерів, динаміку їхнього впливу та складність житлового будівництва. Метою також є впровадження формалізованих інструментів кластеризації, математичного моделювання та аналітичних платформ, здатних підтримувати BSC у режимі реального часу. Окремим завданням є доведення доцільності поєднання BSC із сучасними цифровими інструментами, що дозволяють підвищити якість стратегічного управління та прогнозування в межах житлових девелоперських проєктів.

Методологія проведення роботи. Методологія дослідження базується на інтеграції системного аналізу, кластеризації, математичного моделювання та цифрової аналітики, що дозволяє адаптувати *Balanced Scorecard* до управління стейкхолдерами житлових проєктів. Першим етапом методології є системне структурування стейкхолдерського середовища із виокремленням ключових груп, їхніх інтересів і функціональних ролей. Для аналізу взаємодії застосовуються методи мультиагентного моделювання, що формалізують поведінку стейкхолдерів через функції корисності та коефіцієнти впливу, а також моделі динамічної зміни сили впливу за різними фазами реалізації проєкту.

Другим етапом є побудова кластерної структури на основі мультикритеріальних методів — ієрархічної кластеризації, *K-Means*, *Self-Organizing Maps* та *Fuzzy C-Means*. У методології передбачено використання нечітких функцій належності для врахування багатовекторності інтересів стейкхолдерів та їхньої участі у кількох кластерах одночасно.

Третій етап включає інтеграцію кластерної структури у перспективи BSC шляхом формування метрик, що відображають баланс інтересів, рівень конфліктності, рівень узгодженості та стратегічну цінність кожної групи. Застосовуються BI-платформи для формування дашбордів, *Data Mining* для виявлення закономірностей у великих масивах даних, *Agent-Based Modeling* — для симуляції управлінських рішень.

Четвертим етапом є аналітичне оцінювання ефективності моделі за допомогою стохастичного програмування, Монте-Карло моделювання, Парето-оптимізації та індексу узгодженості кластерів із BSC-параметрами. Усі ці елементи поєднані у єдину методологічну систему, яка забезпечує адаптивність, масштабованість і практичну застосовність моделі у житлових девелоперських проєктах.

Результати роботи. У результаті дослідження сформовано цілісну методіку інтеграції *Balanced Scorecard* у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проєктів, що поєднує структурний,

функціональний та аналітичний підходи. Розроблена модель дозволяє адаптувати класичні перспективи BSC до особливостей житлового будівництва, де багатокритеріальні інтереси стейкхолдерів суттєво впливають на фінансову стійкість, динаміку будівельних робіт, рівень соціальної акцептації та організаційну узгодженість.

Запропонована система засвідчила ефективність використання мультикритеріальної класифікації, нечіткої логіки, агентного моделювання та стохастичних методів для створення адаптивної управлінської моделі. Встановлено, що інтеграція BSC з кластерами стейкхолдерів сприяє зниженню юридичних, технічних та економічних ризиків, оптимізації комунікацій, зменшенню конфліктних точок та підвищенню лояльності кінцевих споживачів житла. Окремим результатом є формування індикаторів BSC, які враховують динаміку вагових коефіцієнтів, зміну інтересів стейкхолдерів та їхній вплив на стратегічні цілі. Розроблено математичні моделі оцінювання ефективності, індекси узгодженості, а також механізми застосування цифрових платформ BI і Data Mining для реального моніторингу виконання проектів.

Висновки. Проведене дослідження дозволило сформувати комплексну методику інтеграції Balanced Scorecard у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проектів, що поєднує стратегічні, поведінкові та аналітичні аспекти управління. У висновках встановлено, що ефективність управління у житловому будівництві суттєво зростає за умов поєднання BSC із мультикластерними моделями, які враховують багатofакторність середовища, динамічність інтересів та потенційні зони конфліктності.

Виявлено, що інтеграція BSC з кластеризацією стейкхолдерів забезпечує підвищення узгодженості стратегічних рішень, ефективніший розподіл ресурсів та більшу передбачуваність ходу реалізації будівельних проектів. Сформована модель дозволяє будувати адаптивні стратегічні карти, у яких перспективи BSC доповнені динамічними параметрами, отриманими з агентного моделювання, BI-аналітики, нечітких кластерних функцій і стохастичних розрахунків. Це забезпечує формування системи раннього попередження щодо можливих відхилень і конфліктних ситуацій.

Узагальнення результатів показало, що запропонована методика сприяє зниженню проектних ризиків, підвищенню лояльності покупців, покращенню взаємодії з органами влади, оптимізації графіків і фінансових потоків. Важливою умовою залишається цифрова трансформація, що забезпечує актуальність та гнучкість BSC у реальному часі.

Ключові слова: balanced scorecard, кластеризація стейкхолдерів, житловий девелопмент, багатокритеріальна оцінка, агентне моделювання, нечітка логіка, business intelligence, data mining, стратегічне управління

YEHOR ANANKO

Methodology for integrating the Balanced Scorecard into the stakeholder clustering process of residential projects

The subject of the study is the methodology for integrating the Balanced Scorecard (BSC) into the process of clustering stakeholders in residential construction projects, which combines conceptual, analytical, and mathematical tools of strategic management. Particular attention is paid to adapting the classical BSC perspectives—financial, customer, internal processes, and learning and growth—to the specifics of residential development, where the large number of stakeholders forms multi-vector and often conflicting structures of interests. The subject also includes the formalization of stakeholder behavioural characteristics, the development of utility-function models, the assessment of influence strength, the construction of clusters, and their integration into BSC strategic maps.

Within this subject area, the study examines the application of multicriteria clustering methods, multi-agent modeling, fuzzy logic, data mining, business intelligence, stochastic programming, and simulation platforms. The analysis also covers the alignment of interests among different stakeholder groups and the transformation of these interests into systemic indicators of project performance. The subject includes the complex interdependencies among stakeholders that affect financial stability, social acceptance, construction rhythm, and the level of conflict within the project environment.

The aim of the article is to develop a methodological approach to integrating the Balanced Scorecard

system into the stakeholder clustering process of residential projects, ensuring coherence between strategic goals, performance parameters, and multifactor stakeholder interests. The article seeks to create a foundation for building an adaptive multilevel management model that accounts for stakeholder behaviour, the dynamics of their influence, and the complexity of residential construction. Another objective is to introduce formalized clustering tools, mathematical modeling, and analytical platforms capable of supporting BSC in real time. Additionally, the aim is to justify the feasibility of combining BSC with modern digital tools to improve strategic management and forecasting within residential development projects.

Research methodology. The methodological basis of the study integrates system analysis, clustering, mathematical modeling, and digital analytics to adapt the Balanced Scorecard to the management of stakeholders in residential projects. The first stage involves systematically structuring the stakeholder environment and identifying key groups, their interests, and their functional roles. Multi-agent modeling is used to analyze interactions by formalizing stakeholder behaviour through utility functions and influence coefficients, as well as models of dynamic influence levels at different project stages.

The second stage involves building a cluster structure using multicriteria methods—hierarchical clustering, K-Means, Self-Organizing Maps, and Fuzzy C-Means. The methodology incorporates fuzzy membership functions to reflect the multivector nature of stakeholder interests and their simultaneous participation in several clusters.

The third stage integrates the cluster structure into the BSC perspectives by creating metrics that reflect interest balances, levels of conflict, alignment, and strategic value. BI platforms are used to form dashboards, data mining is applied to detect patterns in large datasets, and agent-based modeling is used to simulate management decisions.

The fourth stage includes analytical evaluation of the model's effectiveness using stochastic programming, Monte Carlo simulation, Pareto optimization, and a stakeholder-cluster alignment index with BSC parameters. All elements are combined into a unified methodological framework that ensures adaptability, scalability, and practical applicability in residential development projects.

Results. The study resulted in the development of a comprehensive methodology for integrating the Balanced Scorecard into the stakeholder clustering process of residential projects, combining structural, functional, and analytical approaches. The developed model enables the adaptation of classical BSC perspectives to the specifics of residential construction, where multicriteria stakeholder interests significantly influence financial stability, construction dynamics, social acceptance, and organizational coherence.

The proposed system demonstrated the effectiveness of multicriteria clustering, fuzzy logic, agent-based modeling, and stochastic methods for creating an adaptive management model. It was established that integrating BSC with stakeholder clusters reduces legal, technical, and economic risks, optimizes communications, decreases conflict points, and increases buyer loyalty. A separate result is the formation of BSC indicators that account for dynamic weight coefficients, changes in stakeholder interests, and their influence on strategic goals. Mathematical evaluation models, alignment indices, and mechanisms for using BI and data mining platforms for real-time project monitoring have been developed.

Conclusions. The study enabled the development of a comprehensive methodology for integrating the Balanced Scorecard into stakeholder clustering in residential projects, combining strategic, behavioural, and analytical aspects of management. The findings show that management effectiveness in residential construction increases significantly when BSC is combined with multi-cluster models that account for environmental complexity, interest dynamics, and conflict zones.

It was found that integrating BSC with stakeholder clustering improves strategic decision alignment, resource distribution efficiency, and project implementation predictability. The resulting model allows for building adaptive strategic maps in which BSC perspectives are supplemented with dynamic parameters derived from agent-based modeling, BI analytics, fuzzy clustering functions, and stochastic calculations. This enables the formation of early-warning systems for potential deviations and conflicts.

The generalization of results demonstrated that the proposed methodology reduces project risks, improves customer loyalty, strengthens cooperation with regulatory authorities, and optimizes

schedules and financial flows. A crucial condition remains digital transformation, which ensures the relevance and flexibility of BSC in real time.

Keywords: *balanced scorecard, stakeholder clustering, residential development, multicriteria evaluation, agent-based modeling, fuzzy logic, business intelligence, data mining, strategic management.*

Постановка проблеми. Управління житловими будівельними проектами характеризується високою складністю через багатовекторність інтересів стейкхолдерів, динамічність внутрішніх та зовнішніх умов і значну кількість факторів, що впливають на успішність реалізації проекту. Однією з ключових проблем стає узгодження інтересів усіх учасників — інвесторів, девелоперів, підрядників, органів влади, банківських структур, місцевих громад, майбутніх мешканців та екологічних організацій. В умовах зростання вимог до прозорості, якості та соціальної відповідальності проектів виникає потреба у побудові моделі стратегічного управління, яка здатна поєднати цілі різних груп і забезпечити комплексну оцінку стану проекту.

Balanced Scorecard у класичній формі не враховує специфіку житлового девелопменту, особливо у випадках, коли взаємодія зі стейкхолдерами носить багатогранний і часто конфліктний характер. Проблема ускладнюється тим, що традиційні методи оцінювання ефективності не здатні відобразити динамічні зміни впливу стейкхолдерів на різних етапах проекту та не дають можливості моделювати сценарії поведінки учасників. Крім того, значний обсяг даних, що виникає під час реалізації житлових проектів, вимагає використання цифрових інструментів глибокої аналітики — Business Intelligence, Data Mining, агентного моделювання, нечітких систем та кластеризації. Без таких підходів стратегічне управління стає фрагментарним, втрачається можливість передбачати ризики та оптимізувати комунікації між стейкхолдерами.

Аналіз досліджень і публікацій проблеми. Аналіз поданого матеріалу свідчить, що проблема інтеграції Balanced Scorecard у процес управління житловими проектами активно розглядається у сучасній науковій літературі, насамперед у контексті трансформації стратегічних моделей управління. У дослідженнях підкреслюється, що BSC у класичному вигляді не повністю охоплює специфіку проектного середовища житлової забудови, де на результати проекту впливають не лише економічні, а й соціальні, екологічні, правові та інституційні фактори. Саме тому в публікаціях фокусується увага на необхідності доповнення

BSC новими перспективами, адаптацією індикаторів та впровадженням динамічної аналітики.

Суттєве місце у дослідженнях займають підходи до кластеризації стейкхолдерів, які дозволяють формалізувати різні групи за інтересами, ступенем впливу, рівнем участі та потенційною конфліктністю. У сучасних працях застосовуються методи K-Means, Fuzzy C-Means, Self-Organizing Maps, ієрархічні алгоритми, що дає змогу структурувати багатокритеріальний простір стейкхолдерів. Публікації доводять, що нечіткі кластерні моделі є надзвичайно ефективними для стейкхолдерського середовища, де інтереси різних груп перетинаються й змінюються з часом.

У наукових роботах також відзначається необхідність застосування мультиагентного моделювання, яке дозволяє описати поведінку стейкхолдерів через функції корисності та змінні коефіцієнти впливу. Ідея моделювання сили впливу у часі та під час переходу між фазами проекту є ключовою для сучасного управління будівництвом. Окрему увагу науковці приділяють цифровим інструментам підтримки прийняття рішень — Business Intelligence, Data Mining, симуляційним платформам, стохастичним моделям та інструментам оптимізації. У літературі простежується тенденція до поєднання BSC із методами Data Envelopment Analysis, нечіткою логікою та машинним навчанням. Це дозволяє значно підвищити точність оцінки ефективності та розширити можливості прогнозування.

Виклад основного матеріалу. Система збалансованих показників або Balanced Scorecard (далі BSC), виникла як відповідь на необхідність розширення фінансово-орієнтованого підходу до оцінювання діяльності підприємств. Її запропонували Р. Каплан і Д. Нортон у 1992 році, і відтоді вона зазнала численних модифікацій і адаптацій під різноманітні сфери управлінської діяльності, включаючи управління проектами та девелоперські ініціативи. Основною перевагою BSC є її здатність інтегрувати як фінансові, так і нефінансові показники, формуючи збалансовану картину ефективності підприємства або проекту. Особливо важливим це стає в контексті управління житловими будівельними проектами, де кількість залучених

стейкхолдерів, складність їхніх інтересів та динамічність змін зовнішнього середовища зумовлюють необхідність багатовимірного моніторингу [1].

У класичній версії Balanced Scorecard охоплює чотири перспективи: фінансову, клієнтську, внутрішніх бізнес-процесів і навчання та розвитку. Однак у сфері житлового будівництва кожна з цих перспектив потребує глибшого наповнення з огляду на специфіку проектної діяльності, велику кількість зацікавлених сторін та високий рівень інтеграції бізнесу з соціальною інфраструктурою територій. Наприклад, фінансова перспектива тут повинна охоплювати не лише дохідність інвестора, але й економічні вигоди для місцевих громад, стабільність фінансування банківських установ, забезпечення рівня прибутковості підрядних організацій та субпідрядників. Перспектива клієнтів трансформується у складну систему обліку очікувань як кінцевих покупців житла, так і державних регуляторів, екологічних організацій, місцевих органів влади. Перспектива внутрішніх процесів обов'язково включає логістичні ланцюги постачання, якість підготовки проектної документації, ефективність управління ризиками під час будівництва, а перспектива навчання та розвитку має враховувати рівень професійної кваліфікації персоналу, адаптацію компанії до змін технологічних стандартів та нормативної бази, цифрову трансформацію процесів [2].

Однією з ключових проблем адаптації BSC до управління стейкхолдерами житлового будівництва є інтеграція багатовекторних і часто конфліктних інтересів учасників проекту в єдину систему оцінювання. В цьому контексті доречно звернутись до підходів мультиагентного моделювання, які дозволяють формалізувати поведінку кожного стейкхолдера через функцію корисності, а взаємодії між ними — через систему обмежень та конфліктних полів. Так, для опису поведінкової функції стейкхолдера можна застосувати наступне формулу 1:

$$H_a = \sum_{b=1}^n D_{ab} \times V_{ab}, \quad (1)$$

де H_a — інтегральна корисність для i -го стейкхолдера, D_{ab} — вага b -го критерію у системі пріоритетів стейкхолдера, а V_{ab} — фактичне досягнення j -го критерію у проекті. Саме подібне формалізоване уявлення дозволяє увести поняття функціонального профілю інтересів кожної групи та далі інтегрувати ці профілі у загальну архітектуру Balanced Scorecard.

Ключовим елементом побудови BSC у житлових проектах виступає правильне визначення метрик кожної з перспектив. Якщо у класичних моделях метрики часто зводяться до чисто економічних показників, то у даному випадку вони повинні відображати рівень компромісів та балансів між стейкхолдерами. Наприклад, фінансовий показник може бути доповнений коефіцієнтом рівня соціальної акцептації проекту серед мешканців, що вимірюється через індекси громадської підтримки або кількість врегульованих конфліктних звернень. Перспектива внутрішніх процесів — через рівень дотримання графіку та бюджету, частоту технічних інцидентів, кількість невирішених юридичних суперечок. Перспектива клієнтів — через інтегральний показник задоволеності покупців житла, а також рівень виконання договірних зобов'язань. Перспектива навчання — через частку персоналу, що пройшов кваліфікаційні курси, та рівень цифровізації проектної документації.

Не менш важливим є розуміння динамічної природи стейкхолдерського середовища житлових проектів. Одним із сучасних підходів до урахування цих динамік є застосування нелінійних функцій впливу, які моделюють зміну сили впливу стейкхолдера у часі в залежності від стадії проекту. Наприклад, можна описати зміну сили впливу наступною формулою 2:

$$\frac{dC_a(t)}{dt} = \beta_a \times (R_a(t) \times C_a(t)), \quad (2)$$

де $C_a(t)$ — фактична сила впливу a -го стейкхолдера у момент часу t , $R_a(t)$ — його потенційна сила впливу, а β_a — коефіцієнт інерційності реагування. Така модель демонструє, як вагомість стейкхолдерів змінюється при переході від етапу проектування до експлуатації об'єкта.

Варто також зазначити, що інтеграція BSC в житлове будівництво активно досліджується багатьма сучасними авторами. Наприклад, К. Хофман розглядає трансформацію класичних моделей BSC через залучення адаптивних метрик до аналізу ризиків проектів будівництва. В його роботах акцентується увага на потребі в рефлексивних циклах управління, що забезпечують адаптацію показників BSC у реальному часі в залежності від змін ситуації навколо проекту. Д. Стейсі вказує на значення BSC для гармонізації інтересів публічно-приватних партнерств у сфері будівництва, де особливо актуальними є показники прозорості, якості звітності та рівня суспільної довіри. Ба-

гато сучасних європейських досліджень вказують на доцільність доповнення класичної моделі BSC такими специфічними перспективами як «Екологічна стабільність» чи «Інноваційний розвиток» [3].

Особливо перспективним напрямом адаптації BSC до управління стейкхолдерами житлових проєктів є його поєднання з методиками Data Envelopment Analysis (DEA), які дозволяють оцінювати ефективність використання ресурсів в умовах багатокритеріального середовища. Поєднання BSC та DEA створює потужний інтегрований інструментарій аналізу проєктної ефективності на основі емпіричних даних.

Наведений рисунок 1 ілюструє трансформацію класичної системи BSC для потреб житлового будівництва, із урахуванням мультивекторних інтересів стейкхолдерів, кластеризації та динаміки впливів. У схемі інтегровано ключові перспективи, специфічні метрики та формули, що формалізують взаємодію в управлінській моделі.

Для того щоб реалізувати описану багаторівневу модель стратегічного управління, необхідно забезпечити її дієву аналітичну підтримку. Саме тут на перший план виходять сучасні інструменти, здатні перетворити теоретичну архітектуру BSC–кластеризації на адаптивну систему управ-

ління в реальному часі. Це потребує залучення відповідного методичного інструментарію.

Сучасне управління житловими проєктами передбачає взаємодію зі складною системою стейкхолдерів, кожен із яких має власні цілі, інтереси, очікування та обмеження. Інтеграція методики Balanced Scorecard у процес кластеризації цих учасників створює новий рівень складності для ухвалення управлінських рішень. Водночас саме тут виникає нагальна потреба у залученні потужних аналітичних інструментів, здатних інтерпретувати багатомірні дані, оцінювати динаміку взаємодії, прогнозувати конфліктні зони й підтримувати менеджмент у формуванні обґрунтованих стратегій.

Наукова школа аналітичної підтримки управління в будівельних проєктах сформувала широкий спектр методів, що можуть застосовуватися у рамках інтегрованої BSC–кластерної моделі. Серед найбільш фундаментальних підходів важливо виокремити системний аналіз, мультикритеріальну оптимізацію, агентне моделювання, методи штучного інтелекту, Data Mining та Business Intelligence. Всі ці підходи, поєднані з концептуальною структурою Balanced Scorecard, створюють універсальний інструментарій для глибокої аналітики [4].

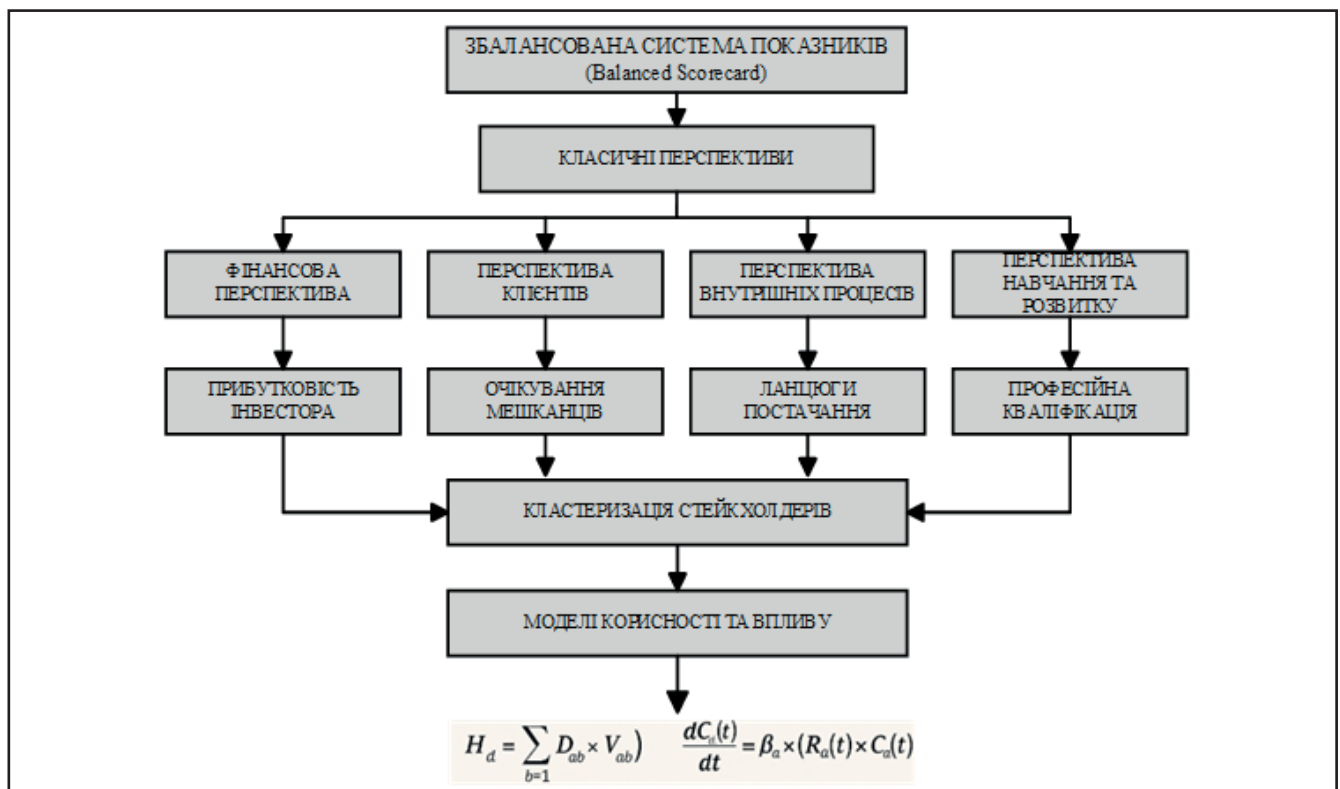


Рисунок 1. Адаптації Balanced Scorecard до управління стейкхолдерами житлових проєктів

Джерело: розроблено автором на основі [3]

Системний аналіз у даному контексті виконує функцію формування загальної концептуальної рамки моделювання. Він дозволяє описати житловий проект як складну динамічну систему, що включає безліч підсистем — фінансову, організаційну, екологічну, соціальну, нормативно-правову тощо. Застосовуючи системний підхід, менеджери отримують можливість чітко ідентифікувати критичні зв'язки між різними групами стейкхолдерів, виявляти потенційні конфліктні точки й формулювати інтегровані стратегічні рішення.

Надалі у процесі сегментації груп стейкхолдерів важливу роль відіграє мультикритеріальна класифікація, яка може будуватися на основі таких методів, як ієрархічна кластеризація (Hierarchical Clustering), алгоритм К-середніх (K-Means), Self Organizing Maps (SOM) або Fuzzy C-Means. Застосування цих методик дає змогу не тільки об'єднувати стейкхолдерів за схожими характеристиками, а й формувати гнучкі міжкластерні зв'язки, які будуть відображати неоднозначність та багаторівневість їхніх інтересів. Наприклад, метод нечіткої кластеризації дозволяє врахувати перетин сфер впливу: один стейкхолдер може одночасно належати до кількох груп із різною мірою приналежності [5].

В математичній формі γ функція належності нечіткого кластеру для a -го :

$$\gamma_{ab} = \frac{1}{\sum_d^c \left(\frac{x_a - v_b}{x_a - v_d} \right)^{\frac{2}{n-1}}}, \quad (3)$$

де γ_{ab} — ступінь належності стейкхолдера x_a до центру кластеру v_b , c — кількість кластерів, n — параметр нечіткості, який визначає розмитість меж.

Особливої актуальності набувають методики Business Intelligence (BI), які забезпечують збирання, зберігання, інтеграцію та інтерпретацію великих масивів даних про динаміку поведінки стейкхолдерів у реальному часі. За допомогою BI можна проводити моніторинг ключових індикаторів за всіма перспективами BSC, оперативно виявляти відхилення від планових показників, аналізувати динаміку виконання проектних цілей. Застосування BI дозволяє формувати дашборди — інтерактивні панелі, що об'єднують інформацію про фінансові потоки, ступінь задоволеності покупців, динаміку виконання графіку будівництва, екологічні показники, рівень кваліфікації персоналу.

Не менш значущу роль у цьому контексті відіграє Data Mining — глибока аналітика даних, яка доз-

воляє виявляти приховані закономірності у великих наборах історичної та оперативної інформації. Наприклад, за допомогою алгоритмів класифікації (Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machine) можна передбачити ймовірність конфліктних ситуацій із конкретними стейкхолдерами ще на етапі планування. Методи асоціативних правил (Apriori, FP-Growth) дають можливість ідентифікувати типові комбінації чинників, що ведуть до збоїв у виконанні графіку чи перевищення кошторисів.

Застосування агентного моделювання (Agent-Based Modeling) дає можливість розглядати проект як сукупність взаємодіючих агентів — стейкхолдерів, кожен з яких діє згідно власних стратегій і цілей. Кожен агент володіє власною функцією корисності, а система в цілому еволюціонує внаслідок взаємодії між агентами. Агентна модель дозволяє симулювати різні сценарії розвитку подій, оцінювати наслідки управлінських рішень ще до їх фактичної реалізації. Наприклад, при введенні нових екологічних стандартів можна змоделювати, як відреагують на це підрядники, фінансисти, покупці житла та органи контролю [6].

Важливим інструментом є також залучення методів стохастичного програмування для прийняття рішень в умовах невизначеності. Оскільки житлове будівництво часто піддається впливу факторів ризику (курсів коливання, зміни цін на матеріали, зміни нормативних актів, соціальні протести тощо), стохастичні моделі дають змогу формувати сценарії розвитку подій з урахуванням ймовірнісних оцінок кожного із ризиків. Формально це може бути описано через формулу 4, оптимізаційну задачу такого вигляду:

$$\min_{x \in X} E[f(x, \xi)] + \lambda \times \sqrt{V[f(x, \xi)]}, \quad (4)$$

де x — вектор керуючих рішень, ξ — вектор випадкових параметрів, $E[f(x, \xi)]$ — математичне сподівання цільової функції, $V[f(x, \xi)]$ — дисперсія, а λ — коефіцієнт ризик-нейтралізації.

У структурі BSC-кластерної моделі особливого значення набуває кореляційний аналіз між групами стейкхолдерів, який дозволяє визначити зони конфліктної взаємодії. Виявлення парних або групових кореляцій між очікуваннями різних стейкхолдерів допомагає формувати так звані поля компромісних рішень — зони параметрів, які одночасно задовольняють декілька конкуруючих груп.

Цей підхід дозволяє будувати ітераційні процедури узгодження стратегій за допомогою ме-

тодів Парето-оптимізації. Множина Парето-ефективних рішень дає змогу менеджменту будівельного проекту обирати ті варіанти управління, які забезпечують максимально можливий рівень гармонізації інтересів. Концепція Парето-домінування дозволяє уникати крайніх сценаріїв, де задоволення інтересів однієї групи неминуче знижує рівень задоволення іншої [7].

Для забезпечення ефективної реалізації BSC-моделі у складному середовищі житлових проєктів застосовуються різні аналітичні інструменти, кожен з яких має власну стратегічну вагу та складність впровадження. Рисунок 2 ілюструє порівняльну оцінку ключових методів, що формують аналітичну основу сучасного управління у цьому контексті.

Особливої актуальності в сучасних умовах набуває застосування штучного інтелекту та машинного навчання у BSC-кластерних моделях. Алгоритми глибокого навчання (Deep Neural Networks, Recurrent Neural Networks, LSTM) дозволяють не лише обробляти складні часові ряди даних проєктів, а й виявляти нелінійні залежності між змінами політик стейкхолдерів та проектною ефективністю. Наприклад, трену-

вання моделей на історичних даних щодо впливу змін державного регулювання на ринок житла дозволяє з високою точністю прогнозувати наслідки нових регуляторних ініціатив.

Вагомим аналітичним компонентом є також побудова симуляційних моделей для тестування управлінських стратегій до їх запровадження. Симуляційна аналітика дозволяє створити віртуальну копію проєкту (Digital Twin), на якій можна експериментувати з різними конфігураціями залучення стейкхолдерів, темпами будівництва, схемами фінансування, політиками управління ризиками. Особливо це важливо у проєктах комплексної забудови нових районів чи великих житлових агломерацій, де кожне управлінське рішення має мультиплікативний ефект.

Таким чином, сучасні аналітичні інструменти, інтегровані у модель Balanced Scorecard із кластеризацією стейкхолдерів, формують новий рівень управлінської науки у житловому будівництві. Завдяки залученню системного аналізу, мультикритеріальної кластеризації, агентного моделювання, Business Intelligence, Data Mining, стохастичних моделей, машинного навчання та симуляцій-

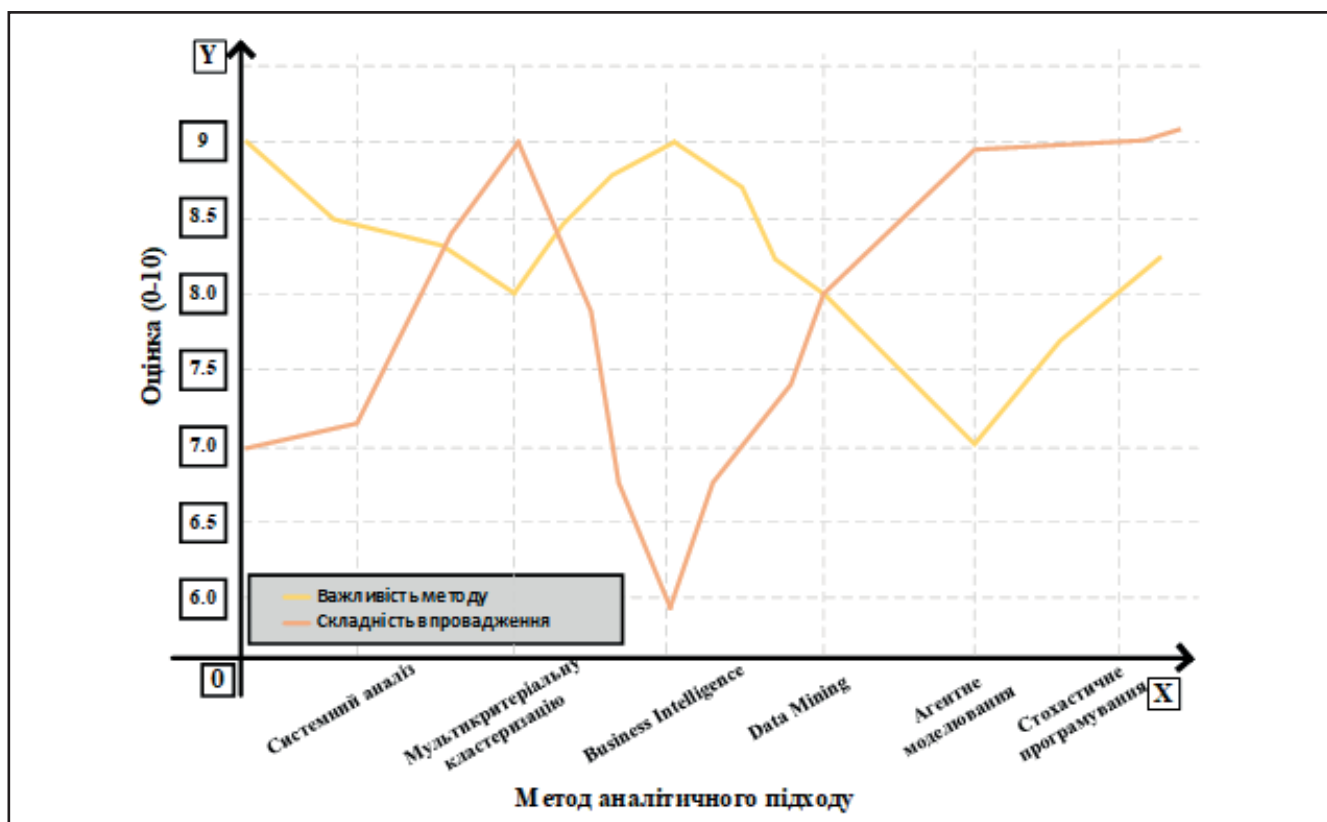


Рисунок 2. Оцінка аналітичних методів підтримки BSC-кластерної моделі в управлінні житловими проєктами

Джерело: розроблено автором на основі [7]

них платформ створюється повноцінна адаптивна система стратегічної підтримки управлінських рішень. Її ключова перевага — це не лише фіксація поточного стану проекту, а й здатність прогнозувати, попереджати, адаптувати та коригувати траєкторію розвитку проекту у відповідь на зміну інтересів стейкхолдерів та зовнішніх умов [8].

Узагальнення аналітичного інструментарію дозволяє перейти до наступного важливого аспекту — оцінювання ефективності самого підходу. Саме інтеграція BSC—кластерної моделі в практику управління житловими проектами потребує ретельного аналізу результатів її застосування, наслідків і потенційних ризиків.

Питання оцінки ефективності впровадження інтегрованої методики Balanced Scorecard у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проектів є одним із найбільш складних, оскільки воно одночасно охоплює як кількісні, так і якісні компоненти діяльності девелоперських структур. Ефективність у даному випадку не зводиться до простої економічної вигоди або оперативної швидкості виконання будівельних робіт, вона формується через складний баланс досягнення стратегічних цілей, задоволення багатьох категорій стейкхолдерів, мінімізації ризиків та адаптаційної стійкості проекту в умовах невизначеності. Власне тому оцінка результативності інтеграції BSC—кластерної моделі вимагає спеціального науково-методичного підходу.

Формування системи оцінювання має виходити із базових функцій самої системи Balanced Scorecard, оскільки її мета — трансляція стратегічних завдань у конкретні параметри управлінської практики. У традиційній схемі BSC ключовим є наявність причинно-наслідкових зв'язків між перспективами, які створюють логіку стратегічної карти. У випадку житлових проектів така карта ускладнюється необхідністю інтегрувати в неї параметри функціонування стейкхолдерських кластерів. Наприклад, фінансовий показник прибутковості має бути прив'язаний не лише до внутрішніх витрат, але й до зовнішніх умов ринку, кредитних відносин із банківськими структурами, рівня затвердження проектної документації місцевими органами влади. У клієнтській перспективі оцінювання повинно включати не лише показники продажу площі, а й рівень задоволеності мешканців інфраструктурною наповненістю району, юридичну прозорість договорів, рівень піс-

ляпродажного обслуговування об'єктів. Перспектива внутрішніх процесів повинна враховувати як показники ритмічності поставок матеріалів, так і дотримання графіку здачі об'єкта, частоту претензій субпідрядних організацій, якість технічного нагляду. Перспектива розвитку зобов'язана інтегрувати динаміку кваліфікації персоналу, готовність адаптації до змін проектного середовища, ефективність цифрових рішень [9].

Ключовим компонентом системи оцінювання виступає її адаптивна гнучкість, що означає здатність самої моделі перераховувати ваги критеріїв у міру зміни проектних умов. Наприклад, у початковій фазі проекту вагомішими будуть індикатори узгодження дозвільної документації, а на етапі здачі — показники якості оздоблювальних робіт та завершення внутрішніх інженерних систем. Саме ця динамічність забезпечується завдяки синтезу методики BSC з принципами нечіткої логіки, що дозволяє використовувати змінні вагові коефіцієнти. Формалізація такої динамічної структури може набувати вигляду наступного виразу інтегральної ефективності проекту:

$$D(t) = \sum_{a=1}^n \alpha_a(t) \times T_a(t), \quad (5)$$

де $D(t)$ — інтегральний рівень ефективності на момент часу t , $\alpha_a(t)$ — вага a -го індикатора з урахуванням поточної фази проекту, $T_a(t)$ — точне значення i -го показника ефективності.

Дослідження прикладних кейсів девелоперських компаній дозволяють виділити декілька напрямів, за якими інтегрована методика демонструє практичний ефект. Передусім це значне зниження ймовірності юридичних і фінансових затримок, що є прямим наслідком системного узгодження інтересів стейкхолдерів через механізми регулярного моніторингу.

Другою важливою перевагою стає зростання лояльності кінцевих споживачів, які з самого початку отримують прозору модель взаємодії, доступ до інформації про хід будівництва, стандарти енергоефективності, матеріальну якість робіт та післягарантійне обслуговування.

Третім напрямом практичної ефективності є підвищення фінансової стійкості проекту через більш точне планування грошових потоків. Завдяки інтеграції кластерних моделей, компанія отримує раннє попередження про можливі конфліктні ситуації з постачальниками чи підрядниками, може заздалегідь скоригувати графіки

фінансування, забезпечуючи ритмічність робіт та уникнення касових розривів [10].

Для всебічної оцінки результативності впровадження BSC-кластерної моделі в житлових проєктах доцільно аналізувати не лише стратегічну відповідність, а й конкретні наслідки в контексті взаємодії зі стейкхолдерами, лояльності споживачів та фінансової стабільності. Таблиця 1 демонструє основні напрями такої оцінки, відповідні індикатори та механізми реалізації.

Особливої уваги заслуговує вплив інтегрованої системи на зменшення рівня проектних ризиків. Саме через інструменти BSC та кластеризації з'являється можливість ранньої ідентифікації «слабких зон» проєкту. Наприклад, за допомогою кореляційних моделей та стохастичного аналізу можливо передбачити ймовірність затримок у поставках внаслідок збоїв у логістиці. Використовуючи формулу 6, модель Монте-Карло для моделювання ризикових сценаріїв, можна отримати ймовірнісні розподіли ефективності:

$$R(E \leq E_0) = \int_{-\infty}^{E_0} f(E) dE, \quad (6)$$

де $R(E \leq E_0)$ – ймовірність того, що ефективність проєкту опуститься нижче певного контрольного значення E_0 , а $f(E)$ – щільність розподілу ефективності.

Окрім інтегрального показника ефективності з динамічними вагами та стохастичного прогнозу, доцільно залучити ще одну важливу математич-

ну модель – індекс узгодженості кластерів стейкхолдерів з BSC-параметрами, що дозволяє оцінити, наскільки стратегічні показники Balanced Scorecard відображають потреби і впливи окремих груп зацікавлених сторін. Цей індекс, формула 7, будується на основі вагових матриць зв'язків між кластерами та перспективами BSC:

$$F_{align} = \frac{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^n c_{ab} \times k_{ab}}{\sqrt{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^n c_{ab}^2} \times \sqrt{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^n k_{ab}^2}}, \quad (7)$$

де: F_{align} – коефіцієнт узгодженості, c_{ab} – вагомість впливу b -ої перспективи BSC на a -ий кластер, k_{ab} – очікувана значущість b -ої перспективи для a -го кластеру, m – кількість кластерів, n – кількість перспектив BSC.

Цей коефіцієнт є нормалізованим і приймає значення від 0 до 1, де 1 означає повну відповідність між стратегічною структурою BSC і реальними очікуваннями кластерів стейкхолдерів. Якщо значення $F_{align} < 0.6$, це є індикатором стратегічної дисфункції, що вимагає перегляду структури індикаторів та їх розподілу за кластерами. Така метрика, будучи формалізованою в управлінську модель, дозволяє забезпечити зворотний зв'язок і періодичну ревізію системи оцінювання з урахуванням змін зовнішнього і внутрішнього середовища проєкту [11].

Попри зазначені переваги, впровадження інтегрованої моделі не позбавлене певних ризиків і обмежень. По-перше, виникає проблема початкової складності розробки системи індикаторів,

Таблиця 1. Інтегральні напрями оцінки ефективності впровадження BSC-кластерної моделі в житлових девелоперських проєктах

Напрямок ефективності	Описовий зміст напрямку	Ключові індикатори оцінки	Механізми реалізації в межах BSC-кластеру
1. Узгодження стейкхолдерських інтересів	Забезпечення зниження ризику юридичних та фінансових затримок шляхом системної інтеграції очікувань усіх зацікавлених сторін	– Середній термін проходження дозвільних процедур – Кількість узгоджених пунктів проєктної документації	Регулярний моніторинг інтересів стейкхолдерів, використання кластерного аналізу та кореляцій
2. Формування клієнтської лояльності	Підвищення прозорості взаємодії із покупцями житла через доступ до аналітичної інформації, покращення якості комунікацій	– Рівень задоволеності споживачів – Частка повторних звернень – Індекс післягарантійного сервісу	Побудова індикаторів у клієнтській перспективі, візуалізація через BSC-дашборди
3. Фінансова стійкість проєкту	Забезпечення безперебійного руху грошових потоків, завчасне реагування на потенційні фінансові виклики	– Відхилення між плановими та фактичними витратами – Частота касових розривів	Застосування агентного моделювання, прогнозування через Data Mining
4. Адаптивність до змін проєктного середовища	Гнучке управління індикаторами на різних фазах життєвого циклу проєкту, включення динамічних вагових коефіцієнтів	– Динаміка перерахунку ваг індикаторів – Час реакції на зміну зовнішніх факторів	Інтеграція BSC з нечіткою логікою та стохастичним програмуванням

Джерело: розроблено автором на основі [10]

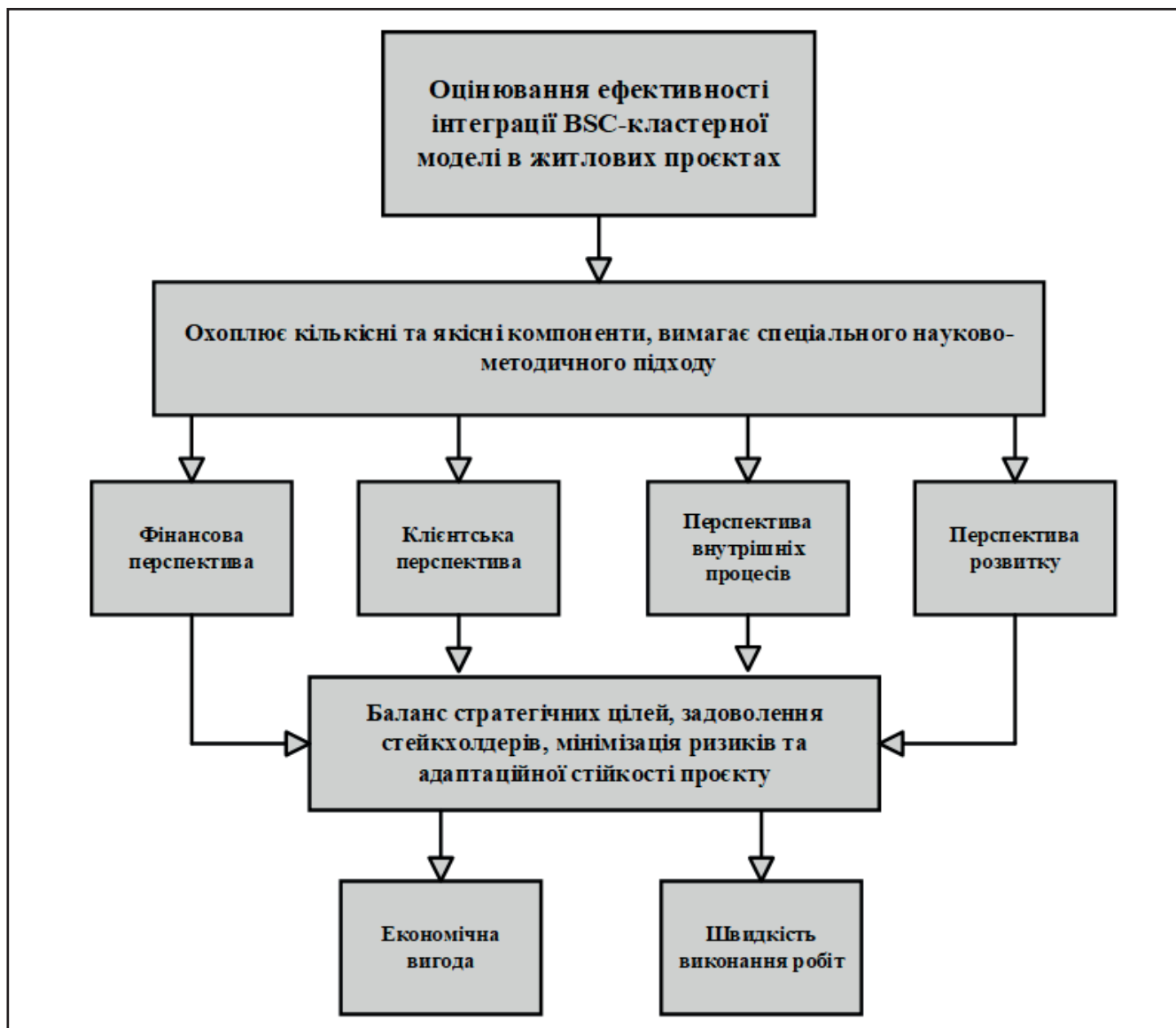


Рисунок 3. Блокова структура оцінювання ефективності впровадження BSC-кластерної моделі в управлінні житловими проєктами

Джерело: розроблено автором на основі [12]

особливо в умовах мультикластерної структури стейкхолдерів, де відносини є динамічними і часто непрозорими. По-друге, висока залежність ефективності моделі від якості початкових даних формує ризики інформаційних спотворень, які можуть призводити до прийняття помилкових управлінських рішень. По-третє, інтеграція цифрових платформ управління вимагає високої кваліфікації персоналу, розвитку внутрішньої аналітичної культури компанії, а також значних початкових інвестицій в IT-інфраструктуру, що не завжди є можливим для середніх і малих девелоперів. По-четверте, залучення великої кількості стейкхолдерів у процес формування системи BSC може викликати політичні суперечності,

оскільки різні групи будуть прагнути включити до системи власні пріоритети на шкоду іншим.

Водночас самі ці ризики лише підтверджують актуальність інтегрованих моделей, оскільки саме через балансування цих складних взаємозалежностей формується стратегічна стійкість сучасних житлових проєктів. Практика провідних міжнародних девелоперських компаній, таких як Skanska, Balfour Beatty, Hines, показує, що побудова складних мультиагентних систем управління на основі BSC із використанням цифрових платформ Data Management System та Risk Monitoring System дозволяє не лише уникати масштабних затримок проєктів, але й підвищувати якість прийняття стратегічних рішень, що базуються на глибо-

кій аналітиці поведінкових моделей стейкхолдерів [12]. З огляду на складну багаторівневу природу житлових проєктів, інтеграція BSC–кластерного підходу вимагає системного оцінювання не лише економічних результатів, а й адаптивної стійкості, узгодженості інтересів і динаміки зовнішніх умов. Побудований рисунок 3 відображає логіку такого оцінювання через класичні перспективи BSC, функціональні пріоритети та очікувані результати.

Висновок

Проведений аналіз дає змогу сформуванню комплексне уявлення про інтеграцію Balanced Scorecard у процес кластеризації стейкхолдерів житлових проєктів як про сучасну, багатокомпонентну та високоадаптивну управлінську методику. Узагальнення матеріалів свідчить, що класична модель BSC, хоча й є фундаментальним інструментом стратегічного планування, в умовах житлового девелопменту потребує суттєвого розширення. Багатовекторні інтереси зацікавлених сторін, складність інституційних взаємодій і необхідність забезпечення соціальної, економічної та технічної стійкості проєкту вимагають застосування інструментів, здатних відобразити повний спектр взаємозалежностей у системі.

Впровадження кластеризації стейкхолдерів створює підґрунтя для формування гнучкої адаптивної структури управління, у межах якої можливо враховувати як спільні, так і конфліктні інтереси різних груп. Мультикритеріальні методи кластеризації та нечіткі моделі приналежності забезпечують можливість роботи з перетинами інтересів, що є характерним для житлових проєктів, особливо на стадіях погодження документації, будівництва та введення в експлуатацію.

Застосування агентного моделювання дозволяє формалізувати поведінкові сценарії стейкхолдерів та визначити зони потенційних ризиків, які важко виявити традиційними підходами. Моделі динамічної зміни сили впливу дають змогу відстежити, як змінюється роль стейкхолдерів залежно від етапів проєкту, що є важливим елементом для стратегічного планування ресурсів, комунікацій та ризик-менеджменту.

Інтеграція розробленої кластерної структури у Balanced Scorecard забезпечує трансформацію стейкхолдерських характеристик у стратегічні індикатори. Формування метрик, що враховують конфліктність, динаміку інтересів, ступінь впливу

та рівень узгодженості, дозволяє створити стратегічні карти нового типу — такі, що відображають багатовимірні взаємозалежності та враховують вплив зовнішніх і внутрішніх чинників.

Важливе місце у методиці займає цифрова аналітика. Застосування BI–платформ відкриває можливість моніторингу ключових показників у реальному часі, автоматичного виявлення відхилень та побудови інтерактивних панелей керування. Data Mining дозволяє виявляти закономірності у великих масивах історичних і оперативних даних, що дає змогу прогнозувати конфлікти, затримки та фінансові ризики. Стохастичні моделі забезпечують імовірнісні сценарії розвитку подій і формують підґрунтя для управління невизначеністю.

Список використаних джерел:

1. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. — Harvard Business Review, Jan–Feb 1992. — Режим доступу: <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>
2. Ominde D., Ochieng E. G., Zuofa T. Multilateral analysis of stakeholder integration, project complexity and project performance on IT projects. *Int. J. Productivity & Performance Management*, 2024. — <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2024-0135>
3. Brighton Univ. Balanced Scorecard, Performance Management and Measurement. PhD Thesis, 2018. — https://research.brighton.ac.uk/files/6636558/Thesis_Final_Version.pdf
4. Shradha Gawankar, Sachin Kamble, Rakesh Raut. Performance Measurement Using Balance Score Card and its Applications: A Review. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 2015. — https://www.researchgate.net/publication/307872136_Performance_Measurement_using_Balance_Score_Card_and_its_Applications_A_Review
5. Scheffer F., Doser I., et al. Stakeholder dynamics in residential solar energy adoption: findings from focus group discussions in Germany. *arXiv 2021*. — <https://arxiv.org/abs/2104.14240>
6. Gosain P. Integrating Multi-Sector Stakeholder Value Systems with Resilience Evaluation. FIU Dissertation, 2023. — <https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6922>
7. Gaur, S., & Tawalare, A. «Stakeholder management and its role on value creation in construction projects: A cross-case analysis.» *Asian Journal of Civil En-*

gineering, Springer Nature, 2024. – Published March 2024. – С. 1–20. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42107-024-01009-9#>

8. Core.ac.uk The Evaluation of the Impact of using Balanced Scorecard on SMEs. Thesis PDF, 2013. – <https://core.ac.uk/download/pdf/51065095.pdf>

9. Zhu Q., Xi J., Hu X., Chong H.–Y. Stakeholder Mapping and Analysis of Off-Site Construction Projects: Utilizing a Power-Interest Matrix and the Fuzzy Logic Theory. *Buildings*, 2024, 14(9):2865. – DOI: 10.3390/buildings14092865

10. Чуприна Ю.А. Побудова концепції інтеграції підприємств стейкхолдерів до складу будівельного кластеру. [Текст] // Формування ринкових відносин в Україні // 2019 зб.наук.праць №1 (212)

11. Kumar S., Lim W.M., Sureka R., Chiappetta-Jabbour C.J., Bamel U. Balanced Scorecard: trends, developments, and future directions. *Review of Managerial Science*, 2024, 18:2397–2439. – DOI: 10.1007/s11846-023-00700-6

12. Чуприна Ю.А. Методологія інтеграції потенціалу стейкхолдерів до складу будівельного кластеру // «Формування ринкових відносин в Україні» // 2019. – № 2 (213). – с. 81–87 https://ndiime.org/wp-content/uploads/2019/07/2_2019.pdf

References:

1. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. – *Harvard Business Review*, Jan–Feb 1992. – Режим доступу: <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>

2. Ominde D., Ochieng E. G., Zuofa T. Multilateral analysis of stakeholder integration, project complexity and project performance on IT projects. *Int. J. Productivity & Performance Management*, 2024. – <https://doi.org/10.1108/IJPPM0220240135>

3. Brighton Univ. Balanced Scorecard, Performance Management and Measurement. PhD Thesis, 2018. – https://research.brighton.ac.uk/files/6636558/Thesis_Final_Version.pdf

4. Shradha Gawankar, Sachin Kamble, Rakesh Raut. Performance Measurement Using Balance Score Card and its Applications: A Review. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 2015. – https://www.researchgate.net/publication/307872136_Performance_Measurement_using_Balance_Score_Card_and_its_Applications_A_Review

5. Scheffer F., Doser I., et al. Stakeholder dynamics in residential solar energy adoption: findings from focus

group discussions in Germany. *arXiv* 2021. – <https://arxiv.org/abs/2104.14240>

6. Gosain P. Integrating Multi Sector Stakeholder Value Systems with Resilience Evaluation. FIU Dissertation, 2023. – <https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/view-content.cgi?article=6922>

7. Gaur, S., & Tawalare, A. «Stakeholder management and its role on value creation in construction projects: A cross case analysis.» *Asian Journal of Civil Engineering*, Springer Nature, 2024. – Published March 2024. – С. 1–20. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42107-024-01009-9#>

8. Core.ac.uk The Evaluation of the Impact of using Balanced Scorecard on SMEs. Thesis PDF, 2013. – <https://core.ac.uk/download/pdf/51065095.pdf>

9. Zhu Q., Xi J., Hu X., Chong H.–Y. Stakeholder Mapping and Analysis of Off Site Construction Projects: Utilizing a Power-Interest Matrix and the Fuzzy Logic Theory. *Buildings*, 2024, 14(9):2865. – DOI: 10.3390/buildings14092865

10. Chupryna Yu.A. Pobudova kontseptsiyi intehratsiyi pidpryemstv steykholderiv do skladu budivel'noho klasteru. [Tekst] // Formuvannya rynkovykh vidnosyn v Ukraini // 2019 zb.nauk.prats' №1 (212)

11. Kumar S., Lim W.M., Sureka R., Chiappetta Jabbour C.J., Bamel U. Balanced Scorecard: trends, developments, and future directions. *Review of Managerial Science*, 2024, 18:2397–2439. – DOI: 10.1007/s11846-023-00700-6

12. Chupryna Yu.A. Metodolohiya intehratsiyi potentsialu steykholderiv do skladu budivel'noho klasteru // «Formuvannya rynkovykh vidnosyn v Ukraini» // 2019. – № 2 (213). – с. 81–87 https://ndiime.org/wp-content/uploads/2019/07/2_2019.pdf

Дані про автора

Ананко Єгор Іванович,

аспірант Київського національного університету будівництва і архітектури

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7929-4103>

email: anankoegor14@gmail.com

Data about the author

Yehor Ananko,

PhD Student at Kyiv National University of Construction and Architecture

email: anankoegor14@gmail.com

Надходження статті до редакції 15.12.2025

Прийнято до друку 23.12.2025

Опубліковано 30.12.2025