

КОМБІНАТОРИКА В УПРАВЛІННІ ІНВЕСТИЦІЙНИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЄКТАМИ

Предметом дослідження цієї статті є перспективи, які розкриває застосування комбінаторики в умовах будівельного інформаційного моделювання (БІМ: Building Information Modeling – BIM). Сьогоднішній світ характеризується високим ступенем непередбачуваності, що підвищує актуальність впровадження нових методів управління проєктними ризиками і можливостями. Іншою особливою рисою сучасності є дигіталізація. Ці два виклики, взяті разом у своїй взаємодії, зумовлюють необхідність наукового дослідження зазначеної теми. Проведений аналіз показав, що інструментарій комбінаторики застосовується в таких сферах, як біологія, фізика, інформаційні технології, лінгвістика. Проте в економіці і менеджменті цей корисний інструментарій ще не набув достатнього поширення. Мета статті – визначити низку чинників, завдяки яким практичне застосування прийомів комбінаторики може якісно вплинути на управління проєктами капітального будівництва. Розкрито сутність БІМ як цифрового середовища для запровадження проєктними командами (і менеджерами проєктів) прогнозування на основі карт сценаріїв розвитку подій. Ілюстрацію можливостей застосування прийомів комбінаторики наведено в таких сферах менеджменту та економіки, як інтегроване виконання проєктів (Integrated Project Delivery), побудова ланцюжків постачання (Supply Chains), заощадливе будівництво (Lean Construction) і аналіз «вигоди-витрати» (Benefit-Cost Analysis). Особливу увагу приділено питанням оцінки економічної і фінансової ефективності в контексті визначення очікуваного процесу розвитку проєкту за допомогою прикладних підходів комбінаторики. Важливою властивістю прийомів комбінаторики є те, що їх застосування є одним із засобів проактивного управління в умовах невизначеності. Комбінаторика має стати однією з необхідних компетентностей для менеджерів проєктів та фахівців з інжинірингу цінності. Наведений у статті наочний бізнес-кейс свідчить про доцільність і корисність широкого впровадження пропонованих підходів у практику здійснення проєктів капітального будівництва.

Ключові слова: комбінаторика, будівельне інформаційне моделювання, ризики, капітальне будівництво, управління проєктами.

JEL classification: C83, D81, L74, M15, O22

Вступ та постановка проблеми. Комбінаторика в епоху дигіталізації технічної, суспільної та економічної діяльності набуває потенціалу значного позитивного впливу на результати проєктів. У поєднанні з можливостями аналізу великих баз даних штучним інтелектом комбінаторика може стати дуже потужним інструментом ухвалення найдоцільніших рішень. Виконання інвестиційних проєктів капітального будівництва пов'язано з фінансово-економічним прогнозуванням, вибором кращих виконавців і постачальників, пошуком найменш витратних за ресурсами технологій, розв'язуванням винахідницьких завдань та їх впровадженням у процесі підготовки, проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів. Отже, протягом усього проєктного циклу неминуче виникатимуть різні комбінації елементів (ситуацій, подій, факторів

тощо), які можуть так чи інакше вплинути на ефективність. Без дигіталізованого інструментарію зробити надійні передбачення вкрай складно. Будівельне інформаційне моделювання (БІМ: Building Information Modeling – BIM) надає такі потенційні можливості. Стохастичний характер масиву даних (про майбутні стани проєкту) для ухвалення рішень зумовлює потребу в застосуванні теорії ймовірностей. Водночас завжди існують якоюсь мірою значущі передумови, які свідчать про те, що найбільш бажаним або очікуваним варіантом є набір певних комбінацій. Отже, на основі логіки можна такі «опорні» комбінації визначити або передбачити. Очевидно, прогноз у цьому випадку не стане чітко детермінованим. Стохастичний компонент прогнозування та оцінок залишиться, проте управління ризиками і можливостями в різних

аспектах здійснення проєктів уже не базуватиметься (передусім або лише) на підході нормального розподілу ймовірностей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Комбінаторика – це наука про певні комбінації [1]. Вона застосовується не лише в математиці, а й в інших науках (біології, фізиці, лінгвістиці), інформаційних технологіях [2], економіці [3], в усіх питаннях, де для нас важливо знати масив способів щось зробити [4].

Комбінаторика має основні правила (суми, добутку, рівності) та методи (перестановки, розміщення, комбінації) [5].

Висока інтенсивність інформаційних потоків вимагає застосування особливих моделей для ухвалення виважених рішень [6]. Використання комбінаторики відіграє важливу роль у систематизації вихідних даних [7]. Це дає змогу розширити коло можливих варіантів технічних рішень, а отже допомагає більш ефективному розв'язанню науково-технічних завдань.

Також завдяки комбінаториці можна визначити набір незалежних змінних, наприклад, у системі оподаткування для побудови економетричних моделей, що дає можливість встановлення більш чіткого зв'язку податків з економічним зростанням країни [8].

Модель «Кристалу» управління цінністю [9] визначає БІМ як один із ключових синергетичних елементів, які впливають на ефективність здійснення проєктів капітального будівництва. Отже, ефект і користь від застосування БІМ значно зростають у середовищі дії інших компонентів менеджменту. Успіх проєкту залежить від правильності ухвалених рішень, які базуються, зокрема, на сценаріях прогнозу та оцінках альтернативних карт постачання проєкту. Такі сценарії та проєктні альтернативи є контекстом аналізу за допомогою комбінаторики.

Невирішені частини проблеми. Сьогоднішньому світу притаманний високий ступінь непередбачуваності, що підвищує актуальність розроблення і впровадження нових методів управління проєктними ризиками і можливостями. Ще однією особливою рисою сучасності є дигіталізація. Ці два виклики, взяті разом у взаємодії, зумовлюють необхідність проведення наукових досліджень із зазначеної теми. Застосування прийомів комбінаторики в економіці й менеджменті ще не набуло достатнього поширення. Визначення найбажаніших (або найочікуваніших) комбінацій є важливим чинником успішного управління. Невирішеною частиною проблеми є з'ясування механізмів, завдяки яким у різних аспектах (зрізах) управління проєктами комбінаторика може давати ефект.

Мета та завдання статті – визначити низку чинників, завдяки яким практичне застосування прийомів комбінаторики може якісно вплинути на управління проєктами капітального будівництва. З огляду на мету цього дослідження поставлено такі завдання:

- проаналізувати чинники впливу БІМ-комбінаторики на ефективність у рамках різних сучасних засобів управління проєктами капітального будівництва;
- розглянути застосування прикладної комбінаторики в реальному бізнес-кейсі.

Виклад основного матеріалу. Дигіталізація здійснення інвестиційних будівельних проєктів відбувається шляхом БІМ. Своєю чергою, БІМ кожного окремого проєкту створюється на основі національних і міжнародних електронних бібліотек товарів і послуг. Ці бібліотеки містять повну інформацію щодо кожного елементу: виробник, габарити, фізичні характеристики, якість, ціна, умови і терміни постачання тощо. Отже, архітектор-проєктант створює модель будівлі і конструює її, спираючись на велику інформаційну базу альтернатив. Кожна комбінація альтернативних елементів дає свій результат (зручність, надійність, тривалість, естетичні характеристики, вартість, економічна ефективність тощо). До того ж певні елементи можуть бути застосовані не в усіх комбінаційних ланцюжках. Отже, архітектор-проєктант в умовах БІМ стає суб'єктом творчої комбінаторики. Зазначимо також, що БІМ формує багатовимірну модель, яка охоплює весь проєктний цикл – аж до моменту зносу будівлі і відновлення земельної ділянки.

Інтегроване виконання проєктів (Integrated Project Delivery – IPD) створює сприятливі умови для активної участі у творчо-аналітичній комбінаториці не тільки архітектора, а й всіх без винятку учасників проєкту: замовника, кошторисника, консультантів, підрядника, субпідрядників, постачальників, майбутніх споживачів-власників, фахівців з експлуатації будівлі тощо. Залучення сторін у комунікативний процес комбінаторики відбувається на якомога більш ранній стадії проєкту. У зазначений спосіб компетентності всіх учасників проєкту інтегруються, підсилюючи можливість віднайти справді найкращу комбінацію в інтересах суспільства і відповідно до принципів сталого розвитку. В умовах IPD і цифрового середовища БІМ виникає можливість запровадження проєктними командами прогнозування на основі карт сценаріїв розвитку подій.

Ефективна інформаційна база для управління проєктом (якою є БІМ) і зручна платформа

для комунікації між його учасниками (якою є IPD) сприяють творчо-аналітичній комбінаториці в побудові найбільш раціональних ланцюжків постачання (Supply Chains – SC). Менеджмент ланцюжками постачання відбувається в матриці взаємовідносин та обміну інформацією, яка передбачає розподіл, з одного боку, на стадії виконання проекту (від визначення стратегії до зносу будівлі), а з іншого – на ролі і характеристики різних учасників проекту. Деякі з учасників проекту є постійними (наприклад, замовник), а деякі – альтернативними (наприклад, виробники обладнання, конструкцій і матеріалів). Комбінаторика закупівель робіт, товарів і послуг у зазначеній моделі суттєво відрізняється від егоїстичних правил «первинного» ринку: вибір кожного постачальника перманентно здійснюється на підставі прозорої і добросовісної інформації щодо якості, досвіду, цін, строків, кваліфікації, надійності, довіри тощо. Отже, комбінаторика в SC принципово змінює маркетингову стратегію.

Заощадливе будівництво (Lean Construction – LC) є методом мінімізації зайвих витрат ресурсів, часу і коштів. Техніко-економічний аудит і пошук резервів виробництва дають змогу віднайти найбільш заощадливу комбінацію рішень. В умовах, коли кожен учасник аналізує проект окремо і в межах своїх власних інтересів, поза можливостями відкритого БІМ, та чи та сторона знаходить максимально економічний варіант саме для себе. Проте в комбінації з іншими учасниками цей варіант вірогідно не буде найкращим. Наприклад, заощадження одного субпідрядника може призвести до зайвих витрат інших субпідрядників, або невелике заощадження в процесі будівництва може призвести до значних витрат на довготривалому етапі експлуатації об'єкта. Творча комбінаторика в контексті LC, в середовищі БІМ і IPD, дає змогу віднайти справді найбільш економічний інтегрований варіант (комбінацію можливих альтернатив).

Аналіз «вигоди-витрати» (Benefit-Cost Analysis – BCA), в доповнення до традиційно застосовуваних прийомів економічного дослідження проекту та інвестиційних ризиків в умовах невизначеності, може бути збагачений оцінкою ключових комбінацій з урахуванням вартості коштів у часі. Тобто, наприклад, крім аналізу ефективності проекту із застосуванням методу Монте-Карло, можна обрахувати інтегральні економічні показники проекту за сценаріями, які творчо-аналітичною комбінаторикою визначені як базисні (найбільш очікувані, бажані

тощо). Цей аспект контексту комбінаторики (у щільному взаємозв'язку з іншими) стисло розглянемо на прикладі проекту будівництва сучасної льодової арени в м. Києві.

Зазначений масштабний українсько-канадський соціально-спортивний проект [10] планується здійснити на платформі БІМ. Окрім згаданих вище переваг, віртуальна модель, яка дає повну наочну інформацію про створюваний актив, надає можливість подання заявок на проведення міжнародних спортивних змагань заздалегідь. У такий спосіб значно підвищується стартова конкурентоспроможність проекту: низку великих (і економічно вигідних) змагань можна проводити одразу після введення об'єкта будівництва в експлуатацію.

Льодову арену планується побудувати за контрактом «під ключ» (Turn-Key Contract) із застосуванням основних принципів IPD. Організаційна стратегія, яка стоїть за цим підходом, полягає в тому, що на підрядника, який є ключовою особою в інтегрованій команді всіх зацікавлених сторін, покладається завдання спроектувати об'єкт, закупити для нього необхідне обладнання і виконати будівельно-монтажні роботи, і коли актив буде готовий для ведення операційної діяльності, передати його замовникові. Обрана стратегія надає хороші можливості для побудови раціональної комбінації ланцюжків постачання (SC), а також мінімізувати зайві витрати ресурсів, часу і коштів за допомогою комбінаторики LC.

Методологія BCA, за визначенням, охоплює весь проектний цикл. Термін експлуатації об'єкта будівництва сягає понад 50 років. Водночас спрогнозувати перебіг подій з таким віддаленим горизонтом неможливо: протягом експлуатації активу відбудеться кілька економічних циклів, можливі зовсім несподівані обставини. Ситуація з пандемією коронавірусу та її значний вплив на ринки є підтвердженням цього. З цієї причини періодом прогнозування визначено 11 років, наприкінці якого об'єкт матиме залишкову вартість (що враховує подальший грошовий потік по проекту). У межах вказаного періоду прогнозування 2 роки є інвестиційними (проектування і будівництво).

Залежно від успішності щодо кількості проведених масштабних міжнародних змагань на об'єкті, комбінаторикою визначена можливість трьох типів фінансових років по проекту – оптимістичний, ймовірний і песимістичний. Далі наведено оцінку зведених вигід від реалізації проекту щодо кожного з цих трьох сценаріїв (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінка вигід від проєкту за трьома варіантами прогнозу (оптимістичний, ймовірний і песимістичний)

Сценарії	Операційні (прямі) доходи за проєктом протягом року, тис. грн	Додаткові (опосередковані) вигоди за проєктом протягом року, тис. грн
Оптимістичний прогноз	595 028	162 512
Ймовірний прогноз	361 060	131 709
Песимістичний прогноз	130 407	90 309

Таблиця 2. Ключові показники ефективності інвестування в проєкт

Показники ефективності	Фінансова оцінка	Економічна оцінка
Чиста приведена вартість, тис. грн	178 989*	785 487*
Дисконтований період окупності, років**	Понад 10*	Понад 5*
Індекс прибутковості	1,097*	1,424*
Внутрішня ставка дохідності, %	15	24

Примітка. *За умови ставки дисконтування 12 %. **Від початку експлуатації новобудови.

Проте навряд чи можна очікувати, що всі роки буде або оптимістичний, або ймовірний, або песимістичний сценарій. Якщо покластися лише на розрахунок очікуваної чистої приведеної вартості (ENPV) і нормальний розподіл ймовірностей для обчислення ризиків, то це не дасть повної картини. Тому доцільно також застосувати підхід комбінаторики. Найімовірнішою комбінацією протягом прогнозованого періоду експлуатації об'єкта є такий варіант: два оптимістичних роки, за якими йдуть чотири ймовірних, а потім успішність знижується – три роки за песимістичним прогнозом. Такий варіант є логічним через те, що в перші роки об'єкт буде дуже конкурентоспроможним, потім його конкурентоспроможність буде лише достатньою, а в подальшому є ризик втрати конкурентоспроможності.

Отже, відповідно до зазначеної вище ключової комбінації можливостей на ринку, було розраховано ключові показники ефективності проєкту (табл. 2).

У зазначений спосіб може бути визначена ефективність проєкту за умови будь-якої іншої комбінації. Отже, творчо-аналітична комбінаторика (в інтегрованому середовищі БІМ, ІРД, СС, ІС) надає масив ключових комбінацій, які за

допомогою ВСА в режимі «what if» оцінюються в контексті ефективності інвестування коштів у проєкт.

Висновки та пропозиції щодо подальших досліджень. Дослідивши застосування комбінаторики в проєктах капітального будівництва та розглянувши відповідні механізми менеджменту на прикладі реального проєкту, можна зробити такі висновки:

- в умовах БІМ комбінаторика приносить значну користь у таких аспектах менеджменту, як інтегроване виконання проєктів, побудова ланцюжків постачання, заощадливе будівництво і аналіз «вигоди-витрати»;
- застосування комбінаторики є одним із засобів проактивного управління проєктами в умовах невизначеності;
- комбінаторика має стати однією з необхідних компетентностей для менеджерів проєктів та фахівців з інжинірингу цінності;
- запропоновані підходи заслуговують на широке впровадження в практику здійснення проєктів капітального будівництва;
- подальші дослідження слід спрямувати на розроблення математичного апарату комбінаторики в поєднанні з інструментарієм методу Монте-Карло.

Список літератури

1. Flajolet P. Analytic combinatorics / P. Flajolet, R. Sedgewick. – Cambridge University Press, 2009. – 810 p.
2. Charalambos A. Charalambides. Enumerative combinatorics / Charalambos A. Charalambides. – Campman & Hall/CRC, 2008.
3. Endriss U. Reduction of Economic Inequality in Combinatorial Domains / U. Endriss // International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems: May 6-10, 2013, St. Paul, MN, USA. – Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2013. – P. 175–182.
4. Lenart C. The Many Faces Of Modern Combinatorics [Electronic resource] / C. Lenart. – Department of Mathematics and Statistics, SUNY at Albany, 2015. – Mode of access: <https://www.albany.edu/faculty/lenart/articles/combin1.pdf>. – Title from the screen.
5. Kreher D. L. Combinatorial Algorithms: Generation, Enumeration, and Search / D. L. Kreher, D. R. Stinson. – Florida: CRC Press LLC, 1999.
6. Pekny J. F. Algorithm architectures to support large-scale process systems engineering applications involving combinatorics, uncertainty, and risk management / J. F. Pekny // Computers & Chemical Engineering. – 2002. – Vol. 26(2). – P. 239–267. [https://doi.org/10.1016/s0098-1354\(01\)00744-x](https://doi.org/10.1016/s0098-1354(01)00744-x)
7. Настасенко В. О. Методологія рішення нових науково-технічних задач інструментального виробництва / В. О. Настасенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2018. – № 25(1301). – С. 111–116. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2018.25.21>
8. Ololdi G. A. A Combinatorial and Synergistic Analysis of Some Selected Nigerian Taxes and Economic Growth [Electronic

- resource] / Oloidi G. Adebayo // *Journal of Studies in Social Sciences*. – 2015. – Vol. 13(1). – P. 54–74. – Mode of access: <https://infinitypress.info/index.php/jsss/article/view/980/542>. – Title from the screen.
9. Bugrov O. Formation of a cumulative model for managing the value of construction projects / O. Bugrov, O. Bugrova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 3(89). – P. 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110112>
10. Бугрова О. Управління ризиками суспільного проекту: алгоритм і бізнес-кейс / О. Бугрова // *Наукові записки НАУКМА. Економічні науки*. – 2019. – Т. 4, вип. 1. – С. 14–19. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.20194.1.14-19>

References

1. Flajolet, P., & Sedgewick, R. (2009). *Analytic combinatorics*. Cambridge University Press.
2. Charalambos A. Charalambides. (2008). *Enumerative combinatorics*. Campman & Hall/CRC.
3. Endriss, U. (2013). Reduction of Economic Inequality in Combinatorial Domains. *International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems: May 6-10, 2013, St. Paul, MN, USA* (pp. 175–182). Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
4. Lenart, C. (2015). *The Many Faces of Modern Combinatorics*. Department of Mathematics and Statistics, SUNY at Albany. <https://www.albany.edu/faculty/lenart/articles/combin1.pdf>
5. Kreher, D. L., & Stinson, D. R. (1999). *Combinatorial Algorithms: Generation, Enumeration, and Search*. Florida: CRC Press LLC.
6. Pekny, J. F. (2002). Algorithm architectures to support large-scale process systems engineering applications involving combinatorics, uncertainty, and risk management. *Computers & Chemical Engineering*, 26(2), 239–267. [https://doi.org/10.1016/s0098-1354\(01\)00744-x](https://doi.org/10.1016/s0098-1354(01)00744-x)
7. Nastasenko, V. O. (2018). Methodology of solution of new scientific and technical problems of instrumental production. *Bulletin of the National Technical University "KPI"*, 25(1301), 111–116. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2018.25.21>
8. Oloidi, G. A. (2015). A Combinatorial and Synergistic Analysis of Some Selected Nigerian Taxes and Economic Growth. *Journal of Studies in Social Sciences*, 13(1), 54–74. <https://infinitypress.info/index.php/jsss/article/view/980/542>
9. Bugrov, O., & Bugrova, O. (2017). Formation of a cumulative model for managing the value of construction projects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(89), 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110112>
10. Bugrova, O. (2019). Risk management of a social project: an algorithm and a business-case. *Scientific Papers NaUKMA. Economics*, 4(1), 14–19. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.20194.1.14-19>

O. Bugrova

COMBINATORICS IN MANAGEMENT OF INVESTMENT CONSTRUCTION PROJECTS

The subject of this article is the perspective that reveals the use of combinatorics in the context of Building Information Modeling (BIM). Today's world is characterized by a high degree of unpredictability, which increases the relevance of the introduction of new methods of project risks & opportunities management. Another feature of modernity is digitalisation. These two challenges, taken together in their interaction, make it necessary to conduct research on the topic. The analysis showed that combinatorial tools are used in such fields as biology, physics, information technology, and linguistics. However, in economics and management this useful toolkit has not yet been sufficiently spread. The purpose of the article is to identify a number of factors by which the practical application of combinatorial techniques can qualitatively affect the management of capital construction projects. The essence of BIM is revealed as a digital environment for forecasting by project teams (and project managers), basing on maps of scenarios. Combinatorics is illustrated in the areas of management and economics such as Integrated Project Delivery, Supply Chains, Lean Construction, and Benefit-Cost Analysis. Particular attention is given to assessing the effectiveness in the context of determining the expected course of project development, using applied combinatorial approaches. An important feature of combinatorial techniques is that their use is one of the means of proactive management under uncertainty. Combinatorics should become one of the necessary competencies for project managers and value engineering professionals. The business case presented in the article demonstrates the feasibility and usefulness of the widespread implementation of the proposed approaches in the practice of capital construction projects delivery.

Keywords: combinatorics, building information modeling, risks, capital construction, project management.

Матеріал надійшов 28.04.2020



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)