

РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОТРУДНИЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАРТАПА

DEVELOPMENT OF AN ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF COOPERATION BETWEEN A CONSTRUCTION COMPANY AND A TECHNOLOGICAL STARTUP

A. Sekisov
A. Papoyan
P. Antipin
B. Gish

Summary. In modern construction, there is a significant increase in interest in innovative technologies, which requires companies to be flexible and adaptable. Partnerships between construction companies and technological startups are becoming essential for the implementation of new technologies and enhancing competitiveness. In this context, economic-mathematical modeling (EMM) provides the most effective tools for analyzing, optimizing, and forecasting the results of such interactions. Given the relevance of developing this business sector, this article examines existing approaches in EMM aimed at improving partnerships between construction companies and startups. Based on the conducted research, we have also developed and presented a new multi-criteria economic-mathematical model that describes cooperation between a construction company and a technological startup, taking into account various factors such as cost, quality, time of execution, and sustainability.

Keywords: economic-mathematical model (EMM), multi-criteria decision-making, construction technologies, partnership, innovations.

Секисов Александр Николаевич

Кандидат экономических наук,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина»
alnikkss@gmail.com

Папоян Альбина Артуровна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»
development27@mail.ru

Антипин Павел Александрович

Аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»
antipin.pavel@bk.ru

Гиш Бэлла Руслановна

Ассистент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
bellagish@gmail.com

Аннотация. В современном строительстве наблюдается значительный рост интереса к инновационным технологиям, что требует от компаний гибкости и способности к адаптации. Партнерство между строительными компаниями и технологическими стартапами становится необходимым для внедрения новых технологий и повышения конкурентоспособности. При этом экономико-математическое моделирование (ЭММ) предоставляет наиболее эффективные инструменты для анализа, оптимизации и прогнозирования результатов таких взаимодействий. Учитывая актуальность развития отмеченной сферы бизнеса нами в данной статье исследованы существующие подходы в области ЭММ, направленные на улучшение партнерства между строительными компаниями и стартапами. На основе проведенных исследований нами также была разработана и представлена новая многокритериальная экономико-математическая модель, описывающая сотрудничество между строительной компанией и технологическим стартапом с учетом различных факторов, таких как стоимость, качество, время выполнения и устойчивость.

Ключевые слова: экономико-математическая модель (ЭММ), многокритериальное принятие решений, строительные технологии, партнерство, инновации.

Обзор методических подходов к экономико-математическому моделированию

ЭММ представляет собой мощный инструмент для оптимизации сотрудничества между строительными компаниями и технологическими стартапами через интеграцию новых технологий и подходов к управлению проектами. В данной области проведено большое количество исследований, подчеркивающих важность интеграции новых технологий в строительные

процессы. Прежде всего хотелось бы подробнее остановиться на следующем.

В первую очередь целесообразно обратить внимание на то, что учеными был выявлен фактор прямого влияния на рост производительности труда и снижение затратной составляющей производства процесса внедрения инноваций. В связи с этим такие исследователи, как Gann и Salter предложили использовать ЭММ для оценки влияния новых технологий на финансовые ре-

зультаты проектов. Такой подход позволяет строителям принимать обоснованные решения о внедрении инноваций. Это исследование стало основой для дальнейших работ по интеграции технологий в строительство [1].

В свою очередь Winch акцентировал внимание на необходимости создания гибких моделей, которые могут адаптироваться к изменениям в проекте. Он подчеркивал, что строительные проекты часто сталкиваются с непредвиденными обстоятельствами, требующими быстрой реакции. Гибкие модели позволяют учитывать изменения в сроках, бюджетах и ресурсах. Это способствует более эффективному управлению проектами и снижению рисков. Работа Winch стала основополагающей для разработки адаптивных моделей управления [2].

Kivrak S. и Kivrak E. предложили модель, основанную на использовании аддитивных технологий, таких как 3D-печать, для оптимизации затрат и времени строительства. Они анализируют преимущества использования новых материалов и технологий в строительстве. Модель позволяет оценивать экономическую эффективность внедрения аддитивных решений на разных этапах проекта. Это исследование подчеркивает важность инновационных подходов для повышения конкурентоспособности компаний. Результаты работы могут быть полезны как для стартапов, так и для крупных строительных фирм [3].

Hwang и Ng в своей статье исследовали перспективы применения информационного моделирования зданий (BIM) в качестве основы для ЭММ. BIM позволяет создать цифровую модель здания, что улучшает координацию между участниками проекта. Авторы утверждают, что использование BIM снижает количество ошибок и улучшает качество строительства. Модели на основе BIM помогают оптимизировать процессы проектирования и строительства. Это исследование открывает новые горизонты для применения ЭММ в строительстве [4].

Исследование Olander и Landin фокусируется на оценке влияния заинтересованных сторон на успешность проектов. Авторы предложили использовать ЭММ для анализа рисков, связанных с взаимодействием между строительными компаниями и стартапами. Они подчеркивали важность учета мнений всех участников проекта для достижения успеха. Их модели позволяют выявлять потенциальные конфликты интересов и находить компромиссные решения. Работы Olander и Landin стали основой для дальнейших исследований в области управления заинтересованными сторонами [5].

В отчете RICS рассмотрены тенденции в строительной отрасли, включая использование Интернета вещей (IoT) для мониторинга процессов. Авторы предложили модели, которые учитывают данные с сенсоров для

улучшения управления проектами. Это позволяет строителям получать актуальную информацию о состоянии объектов в реальном времени. Модели IoT помогают оптимизировать расход ресурсов и повышать безопасность на стройплощадках. Исследование RICS подчеркивает важность цифровизации в строительстве [6].

Zhang и Fan предложили концепцию совместной инновации, где стартапы могут предоставлять технологии для повышения эффективности строительства. Авторы утверждают, что такое сотрудничество может привести к значительным экономическим выгодам для обеих сторон. Модели, разработанные ими, помогают оценить потенциальные выгоды от такого партнерства с учетом различных факторов риска и прибыли. Данное исследование демонстрирует, как совместная работа может ускорить внедрение новых технологий в строительство. Результаты работы могут быть полезны при разработке стратегий сотрудничества [7].

Barrow и McMahon рассматривали возможность использования дронов для инспекции строительных объектов и предложили модели для оценки их влияния на безопасность и эффективность процесса строительства. Дроны могут значительно сократить время на проверку состояния объектов и повысить точность данных о ходе работ. Модели данных исследователей позволяют анализировать затраты на внедрение дронов по сравнению с традиционными методами инспекции. Это исследование открывает новые возможности для применения беспилотных технологий в строительстве. Результаты работы могут стать основой для дальнейших исследований в этой области [8].

Khosrow-Pour в своей работе рассматривал облачные технологии как средство оптимизации управления проектами в строительстве. Здесь подчеркивались преимущества использования облачных решений для хранения данных и совместной работы над проектами в реальном времени. Модели, представленные в работе, показывают, как облачные технологии могут снизить затраты и повысить качество выполняемых работ благодаря доступу к актуальной информации. Это исследование демонстрирует важность цифровизации процессов управления проектами в строительстве. Результаты работы могут быть использованы при внедрении облачных решений [9].

В свою очередь исследование Rojas и Aramvareekul подчеркнуло важность использования данных для принятия решений в управлении проектами строительства. Авторы предложили модели, способные создать условия для анализа больших объемов данных с целью прогнозирования результатов проектов с учетом различных факторов риска и неопределенности. Все это позволяет строителям принимать более обоснованные решения

на всех этапах проекта, от планирования до завершения работ. Работа Rojas и Aramvareekul продемонстрировала значимость аналитики данных в современном строительстве. Результаты исследования могут быть полезны при разработке стратегий управления проектами [10].

Kivrak E. и Kivrak S. одно из своих исследований посвятили цифровым двойникам, рассматривая их как инструмент для моделирования процессов строительства и управления ими в реальном времени. Цифровые двойники позволяют создавать виртуальные копии объектов, что помогает улучшить планирование и управление проектами за счет анализа данных о фактическом состоянии объектов строительства. Модели, созданные авторами, показывают, как использование цифровых двойников может снизить затраты на обслуживание объектов после завершения строительства благодаря более точному мониторингу состояния зданий и сооружений. Это исследование открывает новые горизонты для применения ЭММ в управлении жизненным циклом зданий [11].

Lee и Kim рассмотрели модели, которые помогают оценивать экономическую эффективность внедрения новых технологий в строительство, включая роботизацию процессов и автоматизацию работ на стройплощадках. Они подчеркнули важность учета различных факторов при оценке рентабельности инвестиций в новые технологии, таких как затраты на обучение персонала или изменение производственных процессов [12].

Goh и Abdul-Rahman предложили подходы к управлению проектами с использованием аналитических моделей для оценки рисков и выгод от сотрудничества с технологическими стартапами [13].

Alsharif и Alhassan акцентировали внимание на важности инновационных технологий в строительстве и предложили модели для оценки их влияния на производительность [14].

Khosrow-Pour M. рассмотрел новые подходы к управлению проектами с использованием ЭММ, включая интеграцию различных технологий [15].

В целом современные исследования показывают, что интеграция новых технологий может значительно повысить эффективность проектов, снизить затраты и улучшить качество строительства. Использование ЭММ позволяет анализировать различные аспекты взаимодействия сторон и принимать обоснованные решения [16–18].

Многокритериальная экономико-математическая модель сотрудничества

На основе обзора литературы, проведенных исследований в рамках существующей парадигмы эконо-

мического развития и общих инновационных трендов в хозяйственной жизни общества нами был разработан многокритериальная экономико-математическая модель сотрудничества между строительной компанией и технологическим стартапом, направленная на оптимизацию процессов создания новых строительных технологий с учетом различных факторов. Она учитывает такие критерии, как стоимость, качество, время выполнения и устойчивость, что позволяет сторонам принимать обоснованные решения и эффективно управлять ресурсами. Модель помогает выявить оптимальные стратегии взаимодействия, минимизируя риски и максимизируя выгоды для обеих сторон. Использование современных технологий, таких как IoT и BIM, позволяет интегрировать разноплановые данные в модель, что улучшает прогнозирование результатов и повышает эффективность управления проектами. Данная модель призвана создать основу для успешного партнерства поскольку направлена на создание благоприятных условий для внедрения инноваций в строительной отрасли.

Описание модели

Модель основана на многокритериальном подходе, который позволяет учитывать несколько критериев при принятии решений о сотрудничестве.

Z — целевая функция (например, общая прибыль),
 C — затраты на проект,
 Q — качество используемых технологий,
 T — время выполнения проекта,
 S — устойчивость (экологические и социальные аспекты).

Целевая функция может быть записана в виде:

$$Z = f(C, Q, T, S), \quad (1)$$

где функция f представляет собой комбинацию всех критериев.

Для упрощения можно использовать линейную комбинацию:

$$Z = w_1 C + w_2 Q + w_3 T + w_4 S, \quad (2)$$

где w_i — веса критериев, отражающие их значимость.

Ограничения

Модель также включает ограничения:

1. Бюджетное ограничение: $C \leq B$

где B — общий бюджет проекта.

2. Ограничение по качеству: $Q \geq Q_{\min}$

где Q_{\min} — минимально допустимое качество.

3. Ограничение по времени: $T \leq T_{\max}$

где T_{\max} — максимально допустимое время выполнения.

Частный случай 1. Разработка новых строительных материалов

В данном случае строительная компания сотрудничает со стартапом, разрабатывающим инновационные экологически чистые материалы. Целевая функция будет включать затраты на материалы и их качество.

Целевая функция:

$$Z = w_1 C + w_2 Q, \quad (3)$$

Ограничения:

1. Бюджетное ограничение: $C \leq B$
2. Ограничение по качеству: $Q \geq Q_{\min}$

Эта модель позволяет строительной компании оценить затраты на новые материалы и их влияние на качество строительства, что важно для повышения конкурентоспособности.

Частный случай 2. Интеграция цифровых технологий в управление проектами

В этом случае стартап предлагает программное обеспечение для управления проектами. Целевая функция включает время выполнения проекта и устойчивость.

Целевая функция:

$$Z = w_1 T + w_2 S, \quad (4)$$

Ограничения:

1. Ограничение по времени: $T \leq T_{\max}$
2. Устойчивость: $S \geq S_{\min}$

Модель позволяет оценить влияние цифровых технологий на сроки выполнения проектов и их экологическую устойчивость.

Частный случай 3. Использование 3D-печати в строительстве

Стартап предлагает технологии 3D-печати для строительства. Целевая функция включает затраты и скорость выполнения.

Целевая функция:

$$Z = w_1 C + w_2 T, \quad (5)$$

Ограничения:

1. Бюджетное ограничение: $C \leq B$
2. Ограничение по скорости: $T < T_{\max}$

Эта модель помогает оценить эффективность использования 3D-печати с точки зрения затрат и времени выполнения строительства.

Заключение

Многокритериальная экономико-математическая модель сотрудничества по разработке новых строительных технологий между строительной компанией и технологическим стартапом представляет собой комплексный подход, учитывающий следующие аспекты взаимодействия сторон.

1. Определение целевой функции. Основной целью модели является максимизация общей прибыли или минимизация затрат с учетом нескольких критериев, таких как качество, время выполнения и устойчивость. Это позволяет строительной компании и стартапу оценивать эффективность своих решений и находить оптимальные пути для достижения общих целей.
2. Учет множества критериев. Модель включает в себя несколько взаимосвязанных критериев, что позволяет учитывать не только финансовые аспекты, но и качество технологий, сроки реализации и экологические факторы. Это делает модель более гибкой и адаптивной к изменениям в проекте и внешней среде.
3. Ограничения и условия. Важным элементом модели являются ограничения, которые могут включать бюджетные рамки, минимальные требования к качеству и сроки выполнения работ. Эти ограничения помогают структурировать процесс принятия решений и обеспечивают соответствие требованиям рынка.
4. Анализ сценариев. Модель позволяет проводить анализ различных сценариев сотрудничества, что помогает сторонам оценивать потенциальные риски и выгоды от внедрения новых технологий. Это способствует более обоснованному выбору стратегий и методов работы.
5. Интеграция данных. Использование современных технологий, таких как IoT и BIM, позволяет интегрировать данные в модель, что улучшает точность прогнозов и повышает эффективность управления проектами. Это создает основу для более глубокого анализа и принятия решений на основе актуальной информации.

Таким образом, многокритериальная экономико-математическая модель является эффективным инструментом для оптимизации сотрудничества между строительными компаниями и технологическими стартапами, позволяя оптимально управлять ресурсами и достигать устойчивого развития в строительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gann, D.M., & Salter, A.J. (2000). «Innovation in Project-Based Firms». *Journal of Engineering and Technology Management*.
2. Winch, G.M. (2010). «Managing Construction Projects». Wiley-Blackwell.
3. Kivrak, S., & Kivrak, E. (2016) «Construction Project Management». Springer.
4. Hwang, B.G., & Ng, W.J. (2013). «Project Management in the Construction Industry». *International Journal of Project Management*.
5. Olander, S., & Landin, A. (2005). «Evaluation of Stakeholder Influence in the Construction Industry». *International Journal of Project Management*.
6. RICS (2017). «The Future of Construction». Royal Institution of Chartered Surveyors.
7. Zhang, X., & Fan, Y. (2015). «A Framework for Collaborative Innovation in Construction». *Construction Innovation*.
8. Barrow, C., & McMahon, R.G.P. (2015). «Construction Management». Palgrave Macmillan.
9. Khosrow-Pour M., et al. (2018). «Advances in Information Technology and Communication in the Construction Industry». IGI Global.
10. Rojas C., & Aramvareekul P. (2003). «The Impact of Information Technology on the Performance of Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*.
11. Kivrak E., & Kivrak S. (2020). «Innovative Technologies in Construction». Springer International Publishing.
12. Lee J., & Kim H.S. (2014). «A Study on the Collaboration Model between Construction Companies and Startups». *Journal of Business Research*.
13. Goh Y.M., & Abdul-Rahman H. (2015). «Innovation in Construction: A Review of the Literature». *International Journal of Construction Management*.
14. Alsharif M.H., & Alhassan A.I. (2020). «The Role of Technology in Enhancing Collaboration in Construction Projects». *Journal of Civil Engineering and Management*.
15. Khosrow-Pour M., et al. (2021). «Digital Transformation in Construction Industry». Springer Nature.
16. Секисов, А.Н. Инновационные модели развития строительного сектора: взгляд в будущее / А.Н. Секисов, А.Э. Большаков // *Современные векторы развития архитектуры и строительства : Сборник статей по материалам конференции, посвященной 50-летию архитектурно-строительного факультета, посвященной 50-летию архитектурно-строительного факультета, Краснодар, 28 марта 2024 года.* — Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. — С. 109–113. — EDN MZESDB.
17. Организационно-технологическая надежность территориально-производственных комплексов в условиях высокой изменчивости экономической среды / А.Н. Секисов, И.И. Рудченко, В.В. Волковская, А.А. Коновалова // *Первый экономический журнал.* — 2023. — № 6(336). — С. 65–71. — DOI 10.58551/20728115_2023_6_65. — EDN PHMIMT.
18. Секисов, А.Н. Организационно-экономические аспекты развития электронных торгов для предприятий строительной отрасли / А.Н. Секисов, И.И. Рудченко, Е.Д. Цвельх // *Первый экономический журнал.* — 2023. — № 9(339). — С. 136–141. — DOI 10.58551/20728115_2023_9_136. — EDN OSXTZX.

© Секисов Александр Николаевич (alnikss@gmail.com); Папоян Альбина Артуровна (development27@mail.ru);
Антипин Павел Александрович (antipin.pavel@bk.ru); Гиш Бэлла Руслановна (bellagish@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»