

Управление в социально-экономических системах

Control in social and economic systems

Научная статья

УДК 658.51

DOI: 10.14529/ctcr250405

ВНЕДРЕНИЕ LEAN-ИНСТРУМЕНТОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА

С.А. Баркалов, sbarkalov@nm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>

Т.А. Аверина, ta_averina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>

А.С. Пелихова, anastasiapelihova004@gmail.com

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. В настоящее время строительные технологии активно развиваются. Проекты становятся более сложными, возрастают требования к срокам и качеству строительных проектов. Простои и исправление ошибок становятся все более дорогостоящими. В этой связи необходимо применение новых управлений методик, методов и инструментов, учитывающих современные потребности. **Материалы и методы.** В работе проведен анализ литературных источников и статистических данных по вопросам применения инструментов бережливого производства. Синтезированы основные аспекты инструментов бережливого производства, являющиеся важными для строительных проектов. С помощью метода анализа иерархий осуществляется выбор методики бережливого производства, в наибольшей степени соответствующей требованиям и характеристикам строительного проекта. **Цель исследования** состоит в определении оптимального Lean-инструмента, направленного на повышение операционной эффективности строительного проекта. **Результаты.** Представлены ключевые факторы снижения операционной эффективности строительного проекта. Согласно имеющимся статистическим данным порядка 70–80 % всех потерь приходится на проектные ошибки и слабую коммуникацию в проектах, что подчёркивает необходимость и важность внедрения цифровых технологий, методик бережливого производства и современных инструментов взаимодействия стейххолдеров. Рассмотрены ключевые Lean-инструменты, такие как Poka-Yoke, 5S, Visual Management и КПСЦ. Выделены их основные аспекты, направления применения, потенциальные эффекты при внедрении в строительстве. Представлена методика выбора наиболее подходящего Lean-инструмента для строительного проекта. Проведённый анализ показал, что наибольший потенциал для повышения операционной эффективности строительного проекта имеет методика 5S. **Заключение.** В целом же исследования показывают, что Lean-инструменты позволяют системно устранить неэффективности, такие как затраты на исправление брака и простои, что ведёт к значительному повышению общей производительности труда и сокращению времени строительства. Ключевым фактором успеха является комплексный подход, включающий обучение участников проекта, внедрение механизмов непрерывного совершенствования и создание среды для эффективной совместной работы.

Ключевые слова: бережливое производство, эффективность, строительный проект, управление

Для цитирования: Баркалов С.А., Аверина Т.А., Пелихова А.С. Внедрение Lean-инструментов как способ повышения операционной эффективности строительного проекта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2025. Т. 25, № 4. С. 69–82. DOI: 10.14529/ctcr250405

IMPLEMENTATION OF LEAN TOOLS AS A WAY TO INCREASE THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF A CONSTRUCTION PROJECT

S.A. Barkalov, *sbarkalov@nm.ru*, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>

T.A. Averina, *ta_averina@mail.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>

A.S. Pelikhova, *anastasiapelikhova004@gmail.com*

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. Construction technologies are currently actively developing. Projects are becoming more complex, requirements for the timing and quality of construction projects are increasing. Downtime and error correction are becoming increasingly expensive. In this regard, it is necessary to apply new management techniques, methods and tools that take into account modern needs. **Materials and methods.** The paper analyzes literary sources and statistical data on the application of lean manufacturing tools. The main aspects of lean manufacturing tools that are important for construction projects are synthesized. Using the hierarchy analysis method, the lean manufacturing methodology that best meets the requirements and characteristics of the construction project is selected. **The research objective** is to determine the optimal Lean tool aimed at improving the operational efficiency of a construction project. **Results.** The key factors in reducing the operational efficiency of a construction project are presented. According to available statistics, about 70–80 % of all losses are due to design errors and poor communication in projects, which emphasizes the need and importance of introducing digital technologies, lean manufacturing methods and modern tools for stakeholder interaction. The key Lean tools such as Poka-Yoke, 5S, Visual Management and VSM are considered. Their main aspects, areas of application, potential effects when implemented in construction are highlighted. A methodology for selecting the most suitable Lean tool for a construction project is presented. The analysis showed that the 5S methodology has the greatest potential for improving the operational efficiency of a construction project. **Conclusion.** In general, studies show that Lean tools allow for the systematic elimination of inefficiencies such as the cost of correcting defects and downtime, which leads to a significant increase in overall labor productivity and a reduction in construction time. The key success factor is an integrated approach that includes training project participants, implementing continuous improvement mechanisms and creating an environment for effective teamwork.

Keywords: Lean manufacturing, efficiency, construction project, management

For citation: Barkalov S.A., Averina T.A., Pelikhova A.S. Implementation of Lean tools as a way to increase the operational efficiency of a construction project. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2025;25(4):69–82. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr250405

Введение

В последние годы строительная отрасль столкнулась с масштабными вызовами, обусловленными динамичными изменениями внешней среды. Колебания цен на строительные материалы, ужесточение экологических норм, дефицит квалифицированных кадров, а также экономическая и политическая нестабильность существенно повлияли на функционирование компаний в данном секторе. Одни предприятия смогли адаптироваться к новым условиям и сохранить позиции на рынке, другие – были вынуждены сократить объемы деятельности или вовсе прекратить существование.

Несмотря на то, что значительная часть строительных организаций нашла способы приспособления к новым реалиям, сохраняется высокая степень неопределенности, влияющая на стратегическое и оперативное управление. Долгосрочное планирование становится затруднительным, а порой и рискованным, поскольку прогнозирование экономических и технологических трендов в условиях нестабильности лишено прежней точности. Кроме того, ранее применяемые подходы к управлению проектами, ресурсами и финансами постепенно теряют эффективность, тогда как новые методы и инструменты требуют значительных инвестиций, времени на внедрение и апробацию.

В результате строительным компаниям становится сложнее достигать ожидаемых результатов, поддерживать устойчивый рост и обеспечивать конкурентоспособность. Возникает необходимость в поиске инновационных решений, повышении гибкости организационных структур и внедрении цифровых технологий, которые позволяют минимизировать риски и быстрее адаптироваться к меняющимся условиям [1–4].

Согласно исследованиям НИУ ВШЭ, производительность труда российских компаний повышается достаточно низкими темпами. Если в 2000-е годы она увеличивалась примерно на 5 % в год, то в 2010-е этот показатель упал до 1,6 %, а во времена пандемии приблизился к нулю [5].

Обращаясь к строительной отрасли, отметим, что производительность труда здесь показывает самые низкие темпы роста среди других отраслей за последние 20 лет, на данный момент она находится почти на уровне сельского хозяйства [6].

При этом, согласно данным Росстата, в 2022 году производительность труда в российской строительной отрасли все же продемонстрировала рост на уровне 1,8 %. Данный результат во многом обусловлен участием строительных организаций в реализации национального проекта «Производительность труда». Но даже при положительной динамике показатели отрасли оказались ниже среднеэкономических значений, где в целом была зафиксирована отрицательная тенденция – снижение на 3,6 % [7].

Если говорить о мировых масштабах, то здесь картина также складывается не лучшим образом. Согласно данным центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования, отечественная строительная отрасль весьма низкопроизводительна: производительность труда здесь составляет 88 % от модельного, 47 % – от стран Западной Европы и 33 % – от США. В самом же строительстве дело обстоит еще печальнее: 53 % – от модельного, 34 % – от Западной Европы и 33 % – от США.

Такое отставание, по мнению аналитиков центра макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования, – следствие влияния следующих факторов [8]:

- низкий уровень автоматизации и роботизации отрасли. Так, например, показатель роботизации – около 11 роботов на 10 000 сотрудников, тогда как в промышленности Китая – до 322 [9];
- недостаток квалифицированных кадров: на сегодняшний день порядка 40 % рабочих в строительной отрасли не имеют профильного образования [10];
- устаревшая техника и малоэффективные процессы являются следствием отсутствия цифровых решений и бережливого производства в рамках реализации строительных проектов.

Таким образом, в условиях экономической нестабильности для снижения издержек предприятия и оптимизации себестоимости конечного продукта необходимо чётко учитывать потребности потребителя, минимизировать потери, а также развивать систему обучения и мотивации персонала. Решению указанных задач в значительной степени способствуют инструменты бережливого производства.

Кроме того, внедрение принципов бережливого производства в строительной отрасли способствует системному повышению производительности труда за счёт исключения неэффективных операций и оптимизации организации рабочих процессов. Практические исследования и результаты внедрений подтверждают рост производительности на 10–25 % [11], что позволяет рассматривать данную методологию как действенный инструмент повышения операционной эффективности.

Под операционной эффективностью строительного проекта подразумевается степень рациональности использования ресурсов (труда, материалов, техники, времени и капитала) при выполнении строительных работ с целью достижения заданных проектных параметров (сроки, бюджет, качество). Иными словами, это способность проекта: минимизировать потери; увеличивать производительность труда и ресурсов; обеспечивать согласованность процессов и их участников; достигать поставленных целей с наименьшими затратами при сохранении качества.

Кроме того, операционная эффективность напрямую влияет на экономическую результативность проекта: чем меньше непроизводительных затрат, тем выше скорость и ниже себестоимость строительства.

Также не стоит забывать, что строительный проект отличается от промышленных производственных систем рядом особенностей, которые определяют специфику управления его эффективностью. К этим особенностям можно отнести, например, индивидуальность и уникальность

строительного проекта, которая проявляется в том, что каждый проект имеет свою архитектуру, конструктивные решения, площадку и условия реализации, а также в рамках строительного проекта нельзя полностью тиражировать процессы как, например, на заводе [12, 13].

Цель работы заключается в определении оптимального Lean-инструмента, направленного на повышение операционной эффективности строительного проекта.

1. Материалы и методы

В последние годы проектное управление претерпевает значительные изменения, обусловленные развитием цифровых технологий, глобализацией и усложнением организационных процессов. Современные исследования всё чаще сосредотачиваются на гибридных методологиях, цифровизации процессов и управлении рисками в условиях неопределенности.

Так, исследование PMI подчёркивает значимость интеграции традиционных методов с гибкими подходами (Agile, Scrum) для успешного управления проектами в условиях высокой динамичности рынка. Авторы приводят эмпирические данные, подтверждающие повышение эффективности проектов на 15–20 % при использовании гибридных моделей [14].

Как отмечают D. Bryde, M. Broquetas и J.M. Volm, внедрение технологий Building Information Modeling (BIM) позволяет сократить количество ошибок проектирования на 30–40 % и снизить до четверти затрат на координацию. Подобные выводы подтверждаются также исследованиями Azhar, где BIM рассматривается как ключевой инструмент повышения эффективности управления строительными проектами. [15, 16].

В работе И.И. Юшкина, С.Г. Аламеди и Н.А. Сташевской рассматриваются тенденции внедрения BIM/ТИМ-технологий в строительной отрасли России. Авторы отмечают, что при активном развитии нормативной базы уровень их практического применения остаётся низким – около 7–12 % компаний преимущественно в pilotных проектах, что ограничивает рост эффективности управления строительными проектами [17].

Важной темой современного проектного управления остаётся управление рисками. Согласно исследованиям E. Osipova и P. Eriksson, применение адаптивных моделей риск-менеджмента, сочетающих контроль и гибкость, повышает устойчивость строительных проектов и увеличивает вероятность их успешного завершения на 15–18 %. Аналогичные результаты демонстрируют исследования P.X.W. Zou, G. Zhang и J. Wang, подчёркивающие эффективность интегрированных подходов к управлению проектными рисками [18, 19].

Также следует отметить работу А.С. Селивановой и А.М. Платонова, в которой рассматриваются особенности мотивации проектных команд в девелоперской компании [20]. В исследованиях авторы подчёркивают важность выбора методов мотивации, системного подхода к развитию человеческого капитала и применения цифровых платформ для профессионального обучения.

Таким образом, современное проектное управление характеризуется интеграцией цифровых технологий, гибридных методологий и акцентом на управление рисками и человеческими ресурсами. Несмотря на значительный прогресс, существует необходимость в дальнейшем развитии адаптивных моделей управления, особенно в специфических отраслях, таких как строительство.

2. «Бережливое производство»: сущность и основные инструменты

Под системой «бережливое производство» понимают комплекс взаимно дополняющих и поддерживающих друг друга инструментов, направленных на повышение эффективности деятельности компаний.

Бережливое производство (Lean Production) возникло как концепция повышения эффективности производственных систем за счёт устранения потерь и оптимизации потоков создания ценности. Его истоки восходят к производственной системе Toyota, разработанной в Японии во второй половине XX века Тайити Оно и Эйдзи Тойодой.

Концепция получила широкое признание после публикации исследований Джеймса Вумека, Дэниела Джонса и Дэниела Руза в книге «The Machine That Changed the World» (1990), где термин Lean Production был впервые введён для описания японской модели производства [21].

Сегодня же Lean рассматривается как универсальная управлеченческая философия, ориентированная на создание ценности для клиента при минимальных затратах ресурсов, и продолжает

развиваться в рамках интеграции с цифровыми технологиями, бережливого проектирования и устойчивого развития.

Внедрение бережливого производства позволяет бизнесу повысить качество реализуемых товаров и услуг, а также производительность труда с минимальными инвестиционными затратами [22].

Кроме того, стоит отметить, что данная система служит инструментом выхода компании из кризисных ситуаций, что особенно актуально в настоящее время, ведь в период кризиса бизнес обладает ограниченным количеством ресурсов, которые необходимо использовать максимально бережно.

Также хотелось бы уделить внимание статистической сводке, которая отражает процент внедрения инструментов бережливого производства по отраслям. Данные представлены на рис. 1 [23].

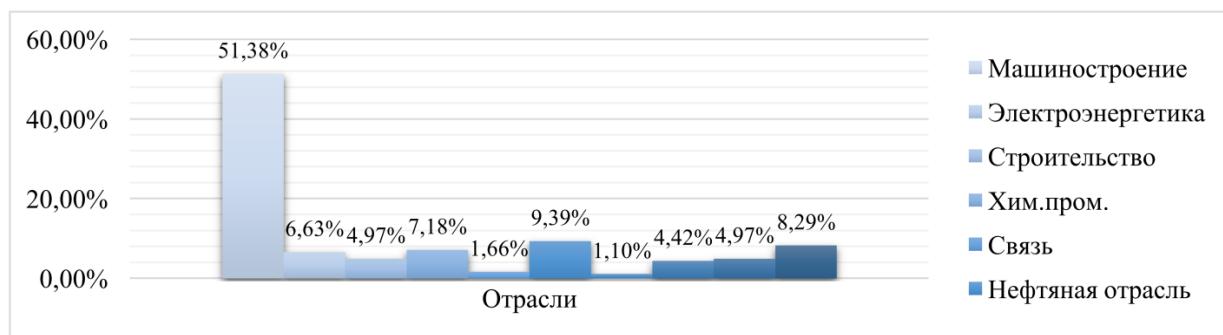


Рис. 1. Распределение Lean-инструментов по отраслям
Fig. 1. Distribution of Lean tools by industry

Строительство входит в пятерку отраслей по внедрению Lean-инструментов. Таким образом, можно сделать вывод, что выдвигаемое предложение по внедрению инструментов «бережливого производства» в строительный проект является актуальным.

Говоря об операционной эффективности строительного проекта, следует определить наиболее часто встречающиеся факторы снижения его качества. На основании анализа различных источников, [24–26] были выявлены следующие причины (табл. 1).

Причины переделок и брака в строительных проектах (обобщенно)
Reasons for rework and defects in construction projects (summarized)

Таблица 1

Table 1

Причина	Доля потерь, %
Низкое качество коммуникаций и передаваемой информации	48–52
Ошибки в проектировании	25–35
Неэффективное планирование работ	≈ 25
Низкий уровень квалификации кадров	≈ 15
Неорганизованность логистических процессов	≈ 20

Совокупно 70–80 % всех потерь приходится на проектные ошибки и слабую коммуникацию, что подчёркивает критическую важность внедрения BIM-технологий, Lean и современных инструментов взаимодействия для снижения брака и повышения эффективности.

Вновь обращаясь к системе бережливого производства, учитывая специфику строительных проектов, были изучены различные ее инструменты и для дальнейшего рассмотрения выделены те, которые способны минимизировать или же полностью устранить влияние негативных факторов, сказывающихся на конечном качестве строительного проекта.

Подробнее рассмотрим следующие инструменты:

- Poka-Yoke – защита от ошибок;
- стандартизация работ;

- методика 5S;
- Visual Management – визуальный контроль;
- карты потока создания ценности (КПСЦ).

На основании проведенного анализа основные аспекты каждого из инструментов структурированы в табл. 2 [27].

Таблица 2
Анализ Lean-инструментов
Table 2
Analysis of Lean Tools

Инструмент	Цель применения	Эффект	Пример применения
Poka-Yoke	Исключение возможности совершения ошибки, которая может повлечь за собой брак	Устраняет дефекты на ранней стадии (в момент выполнения той или иной операции)	Проблема: рабочие устанавливают арматуру с ошибками. Решение: специальные пластиковые фиксаторы / шаблоны, не дающие совершить ошибку. Эффект: снижение числа ошибок, повышение прочности конструкции
Стандартизация работ	Определение лучшего, безопасного и самого эффективного способа выполнения операции	Снижает вариативность, обеспечивает стабильность результатов	Проблема: разная укладка кирпича рабочими. Решение: создание технологической карты укладки кирпича. Эффект: снижение кол-ва дефектов (треснувшие швы, неровности)
5S	Эффективная организация рабочего пространства	Уменьшается вероятность ошибок и дефектов, травм, простоев	Проблема: рабочие теряют время на поиск инструментов, растёт риск травм и ошибок. Решение: убрали лишнее, организовали хранение, ввели ежедневную уборку, закрепили правила, внедрили самодисциплину. Эффект: снижение времени на подготовку к работе на 30 %, меньше травм и брака
Visual Management	Быстрая и понятная подача информации на рабочем месте с помощью визуальных средств: меток, табличек, графиков, схем, сигналов и т. д.	Операции становятся прозрачны и понятны для всех участников процесса, руководство оперативно реагирует на отклонения	Проблема: задержки из-за неясности статуса работ и местоположения материалов. Решение: внедрили цветовую маркировку зон, стенды с информацией о ходе работ. Эффект: сокращение времени на поиск информации и инструмента
КПСЦ	Анализ потока создания ценности	Обнаружение неэффективных и дефектных операций	Проблема: долгий срок строительства наружных сетей. Решение: исключили лишние согласования, объединили поставки. Эффект: сократились сроки, число простоев

Таким образом, из табл. 2 видно, что каждый из рассмотренных инструментов несет в себе определенный эффект, который в конечном счете положительно оказывается на качестве проекта и его эффективности в целом.

3. Выбор оптимального Lean-инструмента

Далее определим наиболее предпочтительный инструмент, применение которого может повысить качество и эффективность строительного проекта с минимальными временными и финансовыми затратами, что особенно важно в нынешних экономических реалиях. Для оценки альтернатив будут использованы следующие критерии:

K_1 – сокращение числа ошибок и процента брака;

K_2 – сокращение времени выполнения операций;

K_3 – стоимость внедрения инструмента;

K_4 – простота внедрения инструмента.

Сравнительная характеристика выбранных инструментов по выделенным критериям представлена в табл. 3.

Таблица 3
Сравнительная характеристика Lean-инструментов
Table 3
Comparative characteristics of Lean tools

Критерий	Инструмент				
	Poka-Yoke	Стандартизация работ	5S	Visual Management	КПСЦ
Сокращение числа ошибок и процента брака	Очень высокое – исключает возможность ошибки	Среднее – снижает вариативность исполнения	Высокое – за счет устранения источников ошибок	Высокое – позволяет быстро заметить отклонения	Среднее – за счёт оптимизации процессов
Сокращение времени выполнения операций	Среднее – зависит от специфики деятельности компании	Высокое – исключает лишние действия	Высокое – ускоряет поиск, снижает потери	Среднее – помогает ориентироваться и координироваться	Высокое – устраняются лишние этапы и простота
Стоимость внедрения инструмента	Высокая – возможны доработки оборудования	Низкая – в основном затраты на разработку инструкций	Очень низкая – требует только организационных усилий	Средняя – зависит от типа визуальных средств	Средняя – требует аналитики и вовлечения персонала
Простота внедрения инструмента	Средняя – требует инженерной проработки	Высокая – легко внедряется	Очень высокая – быстро внедряется	Высокая – быстро воспринимается и внедряется	Средняя – требует подготовки и понимания процессов

Далее перейдем к непосредственному выбору наиболее эффективного инструмента «бережливого производства», который будет осуществлен при помощи метода анализа иерархий (МАИ) в среде MS Excel [28].

В данном случае имеются пять альтернатив (пять инструментов «бережливого производства»), которые обозначим A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 , где A_1 – Poka-Yoke, A_2 – Стандартизация работ, A_3 – 5S, A_4 – Visual Management, A_5 – КПСЦ. Кроме того, имеется четыре критерия выбора альтернатив, обозначенные K_1, K_2, K_3, K_4 (сущность данных критериев была описана ранее).

На первом этапе анализа проводится поочерёдное попарное сравнение всех четырёх альтернатив по критерию K_1 . В результате формируется матрица сравнений $V^{(1)} = [u_{ij}]$, где каждый элемент u_{ij} определяется следующим образом: если альтернатива A_i не уступает по предпочтительности альтернативе A_j , то $u_{ij} = h$, где h обозначает степень предпочтения. В противном случае, когда A_i уступает A_j по данному критерию, значение элемента матрицы имеет вид $u_{ij} = 1/h$.

Таким же образом вычисляем матрицы сравнения $V^{(k)}$ для других критериев, где $k = 1, 2, 3, 4$.

Матрицы попарных сравнений альтернатив $V_{ij}^{(1)}, V_{ij}^{(2)}, V_{ij}^{(3)}, V_{ij}^{(4)}$ представлены на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	АЛЬТЕРНАТИВЫ						ВЕКТОР	ВЕС	КРИТЕРИИ				
2	K1	A1	A2	A3	A4	A5			K1	K2	K3	K4	
3	A1	1	7	3	3	7			1	3	3	3	
4	A2	0,14	1	0,33	0,33	3			0,33	1	0,20	0,33	
5	A3	0,33	3	1	3	3			0,33	5	1	3	
6	A4	0,33	3	0,33	1	3			0,33	3	0,33	1	
7	A5	0,14	0,33	0,33	0,33	1							
8													
9	АЛЬТЕРНАТИВЫ												
10	K2	A1	A2	A3	A4	A5							
11	A1	1	0,33	0,33	1	0,33							
12	A2	3	1	0,33	3	1							
13	A3	3	3	1	7	3							
14	A4	1	1/3	0,14	1	0,33							
15	A5	3	1	0,33	3	1							
16	АЛЬТЕРНАТИВЫ												
17	K3	A1	A2	A3	A4	A5							
18	A1	1	0,14	0,11	0,33	0,33							
19	A2	7	1	0,33	3	3							
20	A3	9	3	1	7	7							
21	A4	3	0,33	0,14	1	1							
22	A5	3	0,33	0,14	1	1							
23	АЛЬТЕРНАТИВЫ												
24	K4	A1	A2	A3	A4	A5							
25	A1	1	1/3	1/9	0,33	1							
26	A2	3	1	0,20	1	3							
27	A3	9	5	1	3	7							
28	A4	3	1	0,33	1	3							
29	A5	1	0,33	0,14	0,33	1							

Рис. 2. Матрицы попарных сравнений критериев и альтернатив
Fig. 2. Matrices of pairwise comparisons of criteria and alternatives

Отметим, что при попарном сравнении альтернатив мы руководствуемся шкалой сравнений, представленной в табл. 4. Кроме того, опираемся на информацию из табл. 3, которая являлась основополагающей при определении степени предпочтительности альтернатив h .

Таблица 4
Шкала относительной важности альтернатив
Table 4
Relative Importance Scale of Alternatives

Уровень важности	Степень предпочтительности h
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительно большее превосходство	7
Абсолютное превосходство	9

Аналогичным образом посредством попарного сравнения значимости критериев формируется матрица сравнений, которая служит основой для вычисления весовых коэффициентов каждого из критериев. Данная матрица представлена на рис. 2 и используется для количественной оценки относительной важности факторов, влияющих на принимаемое решение.

На последующем этапе анализа осуществляется вычисление собственных векторов альтернатив для каждого из рассматриваемых критериев. Для каждой альтернативы i по критерию k определяется компонент вектора $U_i^{(k)}$, значение которого рассчитывается как среднегеометрическое соответствующих элементов в матрице попарных сравнений, относящихся к данной альтернативе:

$$U_i^{(k)} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}^{(k)}} = \sqrt[n]{V_{i1}^{(k)} \times V_{i2}^{(k)} \times \dots \times V_{in}^{(k)}}. \quad (1)$$

Вычисленное значение компоненты вектора $U_i^{(k)}$ представлено на рис. 2. Аналогичным образом определяется собственный вектор для матрицы сравнений критериев, представленный на рис. 2. Последующий этап включает нормализацию полученных собственных векторов, в результате которой формируются весовые коэффициенты для каждой альтернативы по отдельным критериям, а также для самих критериев. Итоговые веса представлены на рис. 3.

Рис. 3. Собственные векторы и веса альтернатив и критерии
Fig. 3. Eigenvectors and weights of alternatives and criteria

Вес альтернативы i по критерию k , обозначаемый как $W_i^{(k)}$, определяется как отношение соответствующего компонента собственного вектора $U_i^{(k)}$ к сумме всех компонентов собственного вектора, относящегося к данному критерию:

$$W_i^{(k)} = \frac{U_i^{(k)}}{\sum_{i=1}^n U_i^{(k)}} = \frac{U_i^{(k)}}{U_1^{(k)} + U_2^{(k)} + \dots + U_n^{(k)}}. \quad (2)$$

Таким же образом вычисляются и веса критериев, обозначенные $W_{\text{крит}}^{(k)}$, где $k = 1, 2, 3, 4$. Веса критериев $W_{\text{крит}}^{(k)}$ представлены на рис. 3.

Рассчитав значения показателей полезности для каждой альтернативы по всем критериям, а также соответствующие веса критерии, возможно вычислить агрегированную функцию полезности для каждой альтернативы. Сопоставляя полученные значения, можно определить оптимальную альтернативу, обладающую максимальным значением функции полезности. Расчёт функции полезности для i -й альтернативы производится по следующей формуле:

$$F_i = \sum_{k=1}^m W_i^{(k)} \times W_{\text{крит}}^{(k)} = W_i^{(1)} \times W_{\text{крит}}^{(1)} + W_i^{(2)} \times W_{\text{крит}}^{(2)} + \dots + W_i^{(m)} \times W_{\text{крит}}^{(m)}. \quad (3)$$

Рассчитанные функции полезности альтернатив представлены на рис. 4.

Так, на рис. 4 наглядно видно, что функция полезности A_1 равна 0,28 (Poka-Yoke); функция полезности A_2 равна 0,12 (Стандартизация работ); функция полезности A_3 равна 0,42 (5S); функция полезности A_4 равна 0,1 (Visual Management); функция полезности A_5 равна 0,05 (КПСЦ).

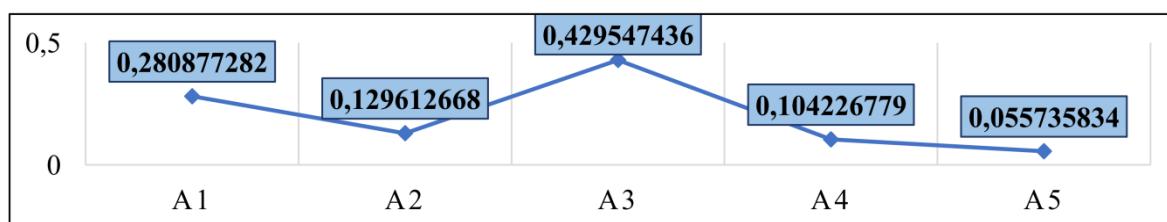


Рис. 4. Функции полезности альтернатив
Fig. 4. Utility functions of alternatives

Таким образом, можно заключить, что именно методика 5S является оптимальным инструментом, который может быть внедрен с целью повышения операционной эффективности строительного проекта. Это обусловлено следующими факторами:

- удаляются лишние инструменты и материалы, что способствует сокращению путаницы, исключению использования некачественных или неподходящих ресурсов;
- всё имеет своё место: исключаются ошибки из-за беспорядка и снижается время на поиск нужного;
- чистота на рабочем месте способствует упрощению текущего контроля: сотрудникам легче выявить дефекты, утечки, износ. Также снижается и риск загрязнения конструкций.

Помимо прочего, стоит отметить, что данная методика проста во внедрении, а также требует крайне малого объема инвестиций, что особенно актуально для бизнеса в нынешних экономических реалиях.

Также в качестве подтверждения состоятельности данного исследования приведем реальный кейс, подтверждающий эффективность инструмента 5S.

Компания «СтройИнвест», специализирующаяся на возведении жилых и коммерческих объектов, в 2023 году решила внедрить систему 5S на одном из своих строительных объектов с целью повышения эффективности и качества работ.

В ходе данного проекта были достигнуты результаты, среди которых: сокращение времени на поиск инструментов с 15 до 3 мин в среднем и увеличение производительности труда на 20 % за счет оптимизации процессов [29].

Таким образом, еще раз отметим, что данная методика может быть применена в рамках строительного проекта с целью повышения его операционной эффективности.

Заключение

Внедрение Lean-инструментов в строительные проекты представляет собой стратегический подход к повышению операционной эффективности и устойчивости отрасли. Применение принципов бережливого производства, таких как, например, устранение потерь, управление потоками и стандартизация процессов, способствует не только оптимизации ресурсов, но и существенному снижению издержек, времени выполнения работ и улучшению качества на всех этапах реализации проекта.

Исследования показывают, что Lean-инструменты позволяют системно устранить неэффективности, такие как затраты на переделки и простоя, что ведёт к значительному повышению общей производительности труда и сокращению времени строительства. Ключевым фактором успеха является комплексный подход, включающий подготовку участников проекта, внедрение механизмов постоянного улучшения и создание среды для эффективного взаимодействия.

В долгосрочной перспективе внедрение Lean-инструментов в строительные проекты способствует не только улучшению финансовых и временных показателей, но и укреплению конкурентоспособности компаний, обеспечивая их более высокую адаптивность в условиях динамично меняющейся внешней среды.

Список литературы

1. Аверина Т.А., Пелихова А.С. Применение Lean-инструментов на различных этапах жизненного цикла строительного проекта // Методы, модели и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении организационными системами: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2025. С. 12–16.
2. Умное управление проектами: учеб. пособие / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Я.Д. Гельруд и др.: под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2019. 189 с.
3. Математические методы и модели управления проектами: учеб. пособие / И.В. Буркова, Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский, А.Л. Шестаков. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2018. 193 с.
4. Аверина Т.А. О применении цифровых двойников в управлении различными функциональными областями строительных проектов // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления: сб. науч. тр. М., 2024. С. 3291–3294.
5. Бережливое производство. Повышаем эффективность в кризис // Дзен: сайт. URL: https://dzen.ru/a/YImNAoJiXibcZ_hG (дата обращения: 01.07.2025).

6. Производительность труда в строитрасли показывает наименьший рост – эксперт // Интерфакс: сайт. URL: <https://www.interfax-russia.ru/realty/news/proizvoditelnost-truda-v-stroyotrasli-pokazyvaet-naimenshiy-rost-ekspert> (дата обращения: 01.07.2025).
7. Статистика // Коммерсантъ: сайт. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6296003#:~:text=%20итогам%202022%20года%2C%20по%20данным%20Росстата%2C,строительных%20 компаний%20 в%20национальный%20проект%20«Производительность%20труда»> (дата обращения: 01.07.2025).
8. Производительность труда в российской стройотрасли в три раза уступает США // Normacs: сайт. URL: <https://www.normacs.info/news/76379> (дата обращения: 01.07.2025).
9. Работать над числом и умением // За-Строй.РФ: сайт. URL: <https://zsrf.ru/directway/rabotat-nad-chislom-i-umeniem> (дата обращения: 01.07.2025).
10. Нехватка специалистов в строительстве: какие профессии в дефиците? // Все о стройке: сайт. URL: <https://xn--b1agapfwapgcl.xn--p1ai/nehvatka-specialistov-v-stroitelstve-kakie-professii-v-deficite/#> (дата обращения: 01.07.2025).
11. Labor Productivity and Lean Construction // 4castsplus: сайт. URL: <https://4castplus.com/labor-productivity-and-lean-construction/> (дата обращения: 01.07.2025).
12. Жукова Ю.А. Бережливое строительство как инновационный метод управления строительством // Вектор научной мысли. 2023. № 5 (5). С. 199–202.
13. Управление строительным комплексом / Т.А. Аверина, С.А. Баркалов, Е.В. Баутина и др.; под общ. ред. С.А. Баркалова. М.: Изд-во ООО «Ритм», 2024. 456 с.
14. Project Management Institute (PMI). Pulse of the Profession Report: Beyond Agility. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 40 р. URL: <https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse> (дата обращения: 01.07.2025).
15. Bryde D., Broquetas M., Volm, J.M. The project benefits of Building Information Modeling (BIM) // International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31 (7). P. 971–980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001
16. Azhar S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry // Leadership & Management in Engineering. 2011. Vol. 11 (3). P. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127
17. Юшкин И.И., Аламиди Ш.Г., Сташевская Н.А. Проблемы и преимущества внедрения BIM на предприятиях строительной отрасли // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. Т. 18, № 2. С. 172–181. DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-2-172-181
18. Osipova E., Eriksson P.E. Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects // International Journal of Project Management. 2013. Vol. 31, no. 3. P. 391–399. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.09.007
19. Zou P.X.W., Zhang G., Wang J.-Y. Understanding the key risks in construction projects in China // International Journal of Project Management. 2007. Vol. 25, no. 6. P. 601–614. DOI: 10.1016/j.ijproman.2007.03.001
20. Селиванова А.С., Платонов А.М. Мотивация персонала как инструмент проектного управления в девелопменте // Весенние дни науки: сб. докл. междунар. конф. студентов и молодых ученых. Екатеринбург, 2023. С. 920–922.
21. Эсетова А.М., Абдулкеримова З.Б. Особенности применения методов проектного управления в строительстве // Региональные проблемы преобразования экономики. 2019. № 6 (104). С. 17–24. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-metodov-proektnogo-upravleniya-v-stroitelstve> (дата обращения: 03.07.2025).
22. Антикризисное бережливое производство // PROКачество. URL: <https://kachestvo.pro/kachestvo-upravleniya/berezhlivoe-proizvodstvo/antikrizisnoe-berezhlivoe-proizvodstvo/> (дата обращения: 03.07.2025).
23. Смирнов С.А., Сорокин Г.С. Применение бережливого производства в российских компаниях // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2022. Т. 16, № 4 (42). С. 55–67. DOI: 10.22394/2073-2929-2022-04-55-67. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-berezhlivogo-proizvodstva-v-rossiyskih-kompaniyah> (дата обращения: 03.07.2025).
24. Контроль качества во время строительства: что и как // SGS: сайт. URL: https://www.sgs.com/ru-az/news/2022/12/kontrol-kachestva-v-hode-stroitelstva-zachem-i-kak?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 03.07.2025).

25. Современные проблемы качества контроля СМР // PlanRadar: сайт. URL: <https://www.planradar.com/cis/sovremennoye-problemy-kontrolya-kachestva-stroitelnyh-rabot/> (дата обращения: 27.04.2025).
26. Башарин А.Д. Проблемы организации контроля качества на строительной площадке // Молодой ученый. 2023. № 24 (471). С. 154–157.
27. Вагин М.С. Тенденции развития инструментов бережливого производства // Гуманистические, социально-экономические и общественные науки. 2024. № 10. С. 149–155. DOI: 10.24412/2220-2404-2024-10-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-instrumentov-berezhlivogo-proizvodstva> (дата обращения: 04.07.2025).
28. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Насонова Т.В. Математические методы проведения экспертизы оценки качественных показателей: Управление строительством. 2018. № 2 (11). С. 6–35.
29. Мокрополов В.Д. Стратегии и инструменты для реализации бережливого производства // Наука и образование сегодня. 2024. № 2 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategii-i-instrumenty-dlya-realizatsii-berezhlivogo-proizvodstva> (дата обращения: 04.07.2025).

References

1. Averina T.A., Pelikhova A.S. [Application of Lean tools at various stages of the life cycle of a construction project]. In: *Metody, modeli i algoritmy podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii organizatsionnymi sistemami. Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Methods, models and algorithms for decision support in managing organizational systems. Proceedings of the I International scientific and practical conference]. Voronezh, 2025. P. 12–16. (In Russ.)
2. Barkalov S.A., Burkov V.N., Gelrud Ya.D. et al. *Umnoe upravlenie proektami: uchebnoe posobie* [Smart project management: a tutorial]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2019. 189 p. (In Russ.)
3. Burkova I.V., Gel'rud Ya.D., Loginovskiy O.V., Shestakov A.L. *Matematicheskie metody i modeli upravleniya proektami: uchebnoe posobie* [Mathematical Methods and Models of Project Management: A Tutorial]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ., 2018. 193 p. (In Russ.)
4. Averina T.A. [On the use of digital twins in the management of various functional areas of construction projects]. In: *XIV Vserossiyskoe soveshchanie po problemam upravleniya: sbornik nauchnykh trudov* [XIV All-Russian conference on management problems. Collection of scientific papers]. Moscow, 2024. P. 3291–3294. (In Russ.)
5. *Berezhlivoe proizvodstvo. Povyshaem effektivnost' v krizis* [Lean manufacturing. Increasing efficiency in a crisis]. Dzen: website. (In Russ.) Available at: https://dzen.ru/a/YlmNAoJiXibcZ_hG (accessed 01.07.2025).
6. *Proizvoditel'nost' truda v stroyotrasli pokazyvaet naimen'shiy rost – ekspert* [Labor productivity in the construction industry shows the least growth – expert]. Interfax: website. (In Russ.) Available at: <https://www.interfax-russia.ru/realty/news/proizvoditelnost-truda-v-stroyotrasli-pokazyvaet-naimenshiy-rost-ekspert> (accessed 01.07.2025).
7. *Statistika* [Statistics]. Kommersant: website. (In Russ.) Available at: [https://www.kommersant.ru/doc/6296003#:~:text=According to the results of 202022, according to Rosstat, construction companies participated in the national project "Labor Productivity"](https://www.kommersant.ru/doc/6296003#:~:text=According to the results of 202022, according to Rosstat, construction companies participated in the national project) (accessed 01.07.2025).
8. *Proizvoditel'nost' truda v rossiyskoy stroyotrasli v tri raza ustupaet SShA* [Labor productivity in the Russian construction industry is three times lower than in the United States. Normacs: website. (In Russ.) Available at: <https://www.normacs.info/news/76379> (accessed 01.07.2025).
9. *Rabotat' nad chislom i umeniem* [Work on numbers and skills]. Za-Stroy.RF: website. (In Russ.) Available at: <https://zsrf.ru/directway/rabotat-nad-chislom-i-umeniem> (accessed 01.07.2025).
10. *Nekhvatka spetsialistov v stroitel'stve: kakie professii v defitsite?* [Shortage of specialists in construction: what professions are in short supply?]. Vse o stroyke: website. (In Russ.) Available at: <https://xn--b1agapfwapgcl.xn--p1ai/nehvatka-specialistov-v-stroitelstve-kakie-professii-v-deficite/#> (accessed 01.07.2025).
11. Labor Productivity and Lean Construction. 4castsplus: website. Available at: <https://4castplus.com/labor-productivity-and-lean-construction/> (accessed 01.07.2025).

12. Zhukova Yu.A. Lean construction as an innovative method of construction management. *Vektor nauchnoy mysli*. 2023;5(5):199–202. (In Russ.)
13. Averina T.A., Barkalov S.A., Bautina E.V., Karpovich M.A., Mailyan L.D., Serebryakova E.A., Shevchenko L.V. *Upravlenie stroitel'nym kompleksom* [Construction complex management]. Moscow: LLC “Ritm” Publ., 2024. 456 p. (In Russ.)
14. Project Management Institute (PMI). *Pulse of the Profession Report: Beyond Agility*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021. 40 p. Available at: <https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse> (accessed 01.07.2025).
15. Bryde D., Broquetas M., Volm, J.M. The project benefits of Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*. 2013;31(7):971–980. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.12.001
16. Azhar S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership & Management in Engineering*. 2011;11(3):241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127
17. Iushkin II., Alamedy S.G., Stashevskaya N.A. Problems and benefits of implementing BIM in the construction industry. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022;18(2):172–181. (In Russ.) DOI: 10.22363/1815-5235-2022-18-2-172-181
18. Osipova E., Eriksson P.E. Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects. *International Journal of Project Management*. 2013;31(3):391–399. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.09.007
19. Zou P.X.W., Zhang G., Wang J.-Y. Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*. 2007;25(6):601–614. DOI: 10.1016/j.ijproman.2007.03.001
20. Selivanova A.S., Platonov A.M. [Personnel motivation as a project management tool in development]. In: *Vesenniye dni nauki: sb. dokl. mezhdunar. konf. studentov i molodykh uchenykh* [Spring Science Days. Collection of papers from the international conference of students and young scientists]. Ekaterinburg, 2023. P. 920–922. (In Russ.)
21. Esetova A.M., Abdulkerimova Z.B. Features of application of methods of design management in construction. *Regional problems of transforming the economy*. 2019;6(104):17–24. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-metodov-proektnogo-upravleniya-v-stroitelstve> (accessed 03.07.2025).
22. *Antikrizisnoe berezhlivoe proizvodstvo* [Anti-crisis lean production]. *PROKachestvo: website*. (In Russ.) Available at: <https://kachestvo.pro/kachestvo-upravleniya/berezhlivoe-proizvodstvo/antikrizisnoe-berezhlivoe-proizvodstvo/> (accessed 03.07.2025).
23. Smirnov S.A., Sorokin G.S. Implementation of lean manufacturing methods in Russian companies. *Eurasian Integration: Economics, Law, Politics*. 2022;16(4(42)):55–67. (In Russ.) DOI: 10.22394/2073-2929-2022-04-55-67. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-berezhlivogo-proizvodstva-v-rossiyskih-kompaniyah> (accessed 03.07.2025).
24. *Kontrol' kachestva vo vremya stroitel'stva: chto i kak* [Quality Control During Construction: What and How]. *SGS: website*. (In Russ.) Available at: https://www.sgs.com/ru-az/news/2022/12/kontrol-kachestva-v-hode-stroitelstva-zachem-i-kak?utm_source=chatgpt.com (accessed 03.07.2025).
25. *Sovremennye problemy kachestva kontrolyya SMR* [Modern problems of quality control of construction and assembly works]. *PlanRadar: website*. (In Russ.) Available at: <https://www.planradar.com/cis/sovremennye-problemy-kontrolyya-kachestva-stroitelnyh-rabot/> (accessed 27.04.2025).
26. Basharin A.D. [Problems of organizing quality control at a construction site]. *Young scientist*. 2023;24(471):154–157. (In Russ.)
27. Vagin M.S. Trends in the development of lean manufacturing tools. *Humanities, social-economic and social sciences*. 2024;10(10):149–155. (In Russ.) DOI: 10.24412/2220-2404-2024-10-4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-instrumentov-berezhlivogo-proizvodstva> (accessed 04.07.2025).
28. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Nasonova T.V. Expert evaluation mathematical methods of quality indicators. *Upravleniye stroitel'stvom*. 2018;2(11):6–35. (In Russ.)
29. Mokropolov V.D. [Strategies and Tools for the Implementation of Lean Manufacturing]. *Science and Education Today*. 2024;2(79). (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategii-i-instrumenty-dlya-realizatsii-berezhlivogo-proizvodstva> (accessed 04.07.2025)

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, декан факультета экономики, менеджмента и инновационных технологий, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; sbarkalov@nm.ru.

Аверина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; ta_averina@mail.ru.

Пелихова Анастасия Сергеевна, магистрант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; anastasiapelikhova004@gmail.com.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Dean of the Faculty of Economics, Management and Innovation Technologies, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; sbarkalov@nm.ru.

Tatiana A. Averina, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; ta_averina@mail.ru.

Anastasia S. Pelikhova, Master's student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; anastasiapelikhova004@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.06.2025

The article was submitted 30.06.2025