

Равновесие Штакельберга с обратной связью по управлению в модели управления инвестиционно-строительными проектами

Г.А. Довыборцев, А.Б. Усов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматривается применение модели равновесия Штакельберга с механизмом обратной связи по управлению при побуждении. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности взаимодействия участников строительства — заказчиков, подрядных организаций и инвесторов — в условиях высокой конкуренции, неопределенности и ограниченных ресурсов. Предлагается формализовать динамическое взаимодействие сторон посредством модели, учитывающей их интересы и реакции на текущие параметры проекта. Разработанный математический аппарат включает двухуровневую структуру управления, где верхний уровень представлен Заказчиком, а нижний — Генеральным подрядчиком, и реализует подход с механизмом обратной связи, позволяющим корректировать стратегии в реальном времени. Проведенное аналитическое и численное моделирование демонстрирует преимущества внедрения такой модели: повышение стабильности стратегий, снижение сроков реализации, минимизация рисков перерасходов и задержек, а также рост прибыли участников. Полученные результаты подтверждают эффективность использования модели равновесия Штакельберга с обратной связью при побуждении в управлении сложными инвестиционно-строительными проектами, что способствует развитию современных методов стратегического планирования и системного управления в строительной отрасли. Приведены результаты численных экспериментов. Сделан ряд выводов.

Ключевые слова: двухуровневая иерархическая модель, равновесие Штакельберга с обратной связью по управлению при побуждении, заказчик, генеральный подрядчик, ведущий, ведомый.

Введение

Современное строительство является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей экономики, характеризующейся высокой степенью сложности, множественностью участников и значительным объемом инвестиций. В условиях интенсивных урбанизационных процессов и растущего спроса на качественное жилье, коммерческую и социальную инфраструктуру, эффективность управления инвестиционно-строительными проектами приобретает особое значение. Высокий уровень конкуренции, необходимость своевременного завершения работ и обеспечение финансовой

рентабельности требуют применения современных методов планирования, моделирования и оптимизации процессов.

Одной из ключевых проблем в управлении такими проектами является необходимость балансировки интересов различных участников: инвесторов, подрядных организаций, заказчиков и иных заинтересованных сторон. В этом контексте важным инструментом становится теория игр, которая позволяет формализовать взаимодействия между субъектами и находить оптимальные стратегии поведения в условиях неопределенности и конкуренции.

Особое значение приобретает использование моделей равновесия — концепций, позволяющих определить стабильные состояния системы, при которых ни один из участников не имеет стимулов к изменению своего поведения без изменения стратегий других участников. Среди таких моделей особое место занимает равновесие Штакельберга, которое применяется для анализа ситуаций, в которых участник действует, учитывая реакции других. В рамках управления инвестиционно-строительными проектами, где зачастую существуют асимметрии информации и различия в целях участников, использование подходов на базе равновесия Штакельберга становится особенно актуальным [1].

В последние годы в научной литературе наблюдается тенденция к активному развитию методов теории игр и их применению в сфере управления строительными проектами. В работах [1-3] рассматриваются модели оптимального взаимодействия между заказчиком и подрядчиком, основанные на концепциях равновесия Нэша и Штакельберга. В частности, исследования [4] посвящены разработке моделей, позволяющих оптимизировать распределение ресурсов и сроки выполнения работ, а также снижать риски, связанные с задержками и перерасходами.

Особое внимание уделяется моделям с обратной связью, в которых управление проектом осуществляется в режиме реального времени, а параметры системы динамически корректируются на основе текущих данных. Такие подходы повышают адаптивность системы и позволяют своевременно реагировать на возможные отклонения от плановых показателей [5, 6].

Несмотря на активное развитие теоретических аспектов, в области управления инвестиционно-строительными проектами сохраняется ряд нерешенных задач. В частности, недостаточно подробно исследованы строительные модели, в которых реализована обратная связь по управлению, основанная на концепции равновесия Штакельберга. Это обусловлено сложностью математического моделирования и необходимостью учета множества факторов, влияющих на динамику проекта, таких как временные ограничения, финансовые риски, взаимодействия участников, а также неопределенность внешней среды.

Модель равновесия Штакельберга, являющаяся одним из наиболее универсальных инструментов для анализа одностороннего и двустороннего взаимодействия в условиях асимметрии информации, обладает значительным потенциалом для применения в управлении инвестиционно-строительными проектами. В частности, внедрение механизма обратной связи позволяет реализовать управление, в котором стратегии участников корректируются в зависимости от текущих результатов и изменений внешней среды.

Однако практическая реализация таких моделей сталкивается с рядом трудностей: сложностью математического моделирования, необходимостью учета множества факторов, а также ограниченностью информационной базы. В связи с этим актуальной задачей становится создание комплексных моделей, позволяющих реализовать равновесие Штакельберга с механизмом

обратной связи, адаптируемым к оперативным изменениям ситуации в проекте.

Ключевым аспектом является разработка методов, обеспечивающих устойчивость системы при управлении, а также анализ эффективности таких подходов в условиях реальных строительных проектов. Важным вопросом является также синтез алгоритмов, позволяющих находить оптимальные стратегии участников в режиме реального времени, а также оценка их эффективности и устойчивости.

Цель данного исследования заключается в разработке и апробации модели управления инвестиционно-строительными проектами на базе равновесия Штакельберга с механизмом обратной связи.

Основными задачами являются:

Анализ существующих теоретических подходов к моделированию взаимодействий участников строительных проектов с использованием концепций равновесия.

- Формализация модели управления инвестиционно-строительным проектом, включающей участников с собственными интересами и реализующей механизм обратной связи.

- Разработка математического аппарата для поиска равновесных стратегий в условиях управления.

- Исследование устойчивости и эффективности предложенной модели на примерах реальных строительных проектов или моделируемых сценариях.

- Разработка рекомендаций по внедрению предложенной модели в практическое управление инвестиционно-строительными проектами.

Научная новизна работы состоит в разработке комплексной модели равновесия Штакельберга, реализуемой с механизмом обратной связи, для задач управления инвестиционно-строительными проектами. Впервые предложен структурированный подход к формализации взаимодействия

участников проекта с учетом временных и финансовых факторов, а также неопределенности внешней среды.

Практическая значимость исследования заключается в создании инструментов для повышения эффективности управления строительными проектами, снижения рисков задержек и перерасходов, а также оптимизации стратегий участников в условиях конкуренции и ограничений. Внедрение таких моделей позволяет повысить адаптивность системы, обеспечить более точное планирование и своевременное реагирование на возникающие проблемы.

Данная статья структурирована следующим образом: в следующем разделе представлены основные теоретические основы модели равновесия Штакельберга и механизма обратной связи; далее изложены математические формулы и методы поиска решений; затем приводятся результаты моделирования и их анализ; в заключении сформулированы выводы и рекомендации для практического применения разработанных подходов.

Математическая постановка задачи

Разработана двухуровневая иерархическая структура, направленная на повышение эффективности управления инвестиционно-строительными проектами. Эта модель предполагает деление системы управления на два взаимосвязанных уровня: верхний и нижний. На верхнем уровне сосредоточены стратегические решения и контрольные функции, осуществляемые ключевыми участниками, такими как заказчик или инвестор. Они определяют основные цели проекта, финансовые показатели и ключевые параметры реализации. Нижний уровень включает операционные подразделения и исполнителей, которые непосредственно занимаются выполнением строительных работ, техническим обеспечением и контролем качества. Такой подход позволяет более четко распределить ответственности,

повысить прозрачность процессов и улучшить коммуникацию между различными участниками проекта. В результате внедрения данной структуры достигается более рациональное использование ресурсов, сокращение сроков реализации и снижение рисков, связанных с управлением сложными инвестиционно-строительными проектами. Кроме того, иерархическая модель способствует более гибкому реагированию на возникающие проблемы и изменения в проекте, что обеспечивает более стабильное и успешное завершение реализации. В целом, разработанная двухуровневая структура является эффективным инструментом повышения управляемости и оптимизации процессов в сфере инвестиционно-строительных проектов [7].



Рис. 1. – Схема двухуровневой иерархической модели оптимального управления инвестиционно-строительных проектов

В роли руководящего субъекта высшего уровня выступает Заказчик (застройщик), а в качестве управляющего — Генеральный подрядчик. Все участники системы ориентированы на достижение максимальной прибыли. В [1] было установлено, что целевая функция Заказчик:

$$J_0 = U + O(\tau_{в.р.}(G; R)) - G - G_d(\tau_{ср} - \tau_{в.р.}(G; R)) - C - M(\tau_{в.р.}(G; R)) - P \rightarrow \max \quad (1)$$

где:

G – оплата за работы Генподрядчику;

$G_d(\tau_{cp}-\tau_{в.р.}(G; R))$ – переменная премия или штраф, зависящий от времени выполнения работ;

U – фиксированный доход от продажи квартир;

$O(\tau_{в.р.}(G; R))$ – доход, связанный со скоростью обращения капитала, зависит от коэффициента времени;

τ_{cp} – средний расчетный коэффициент времени выполнения;

$\tau_{в.р.}(G; R)$ – фактический коэффициент времени, зависящий от оплаты труда и стоимости работ;

C – себестоимость строительства (без учета затрат на Генподрядчика);

$M(\tau_{в.р.}(G; R))$ – маркетинговые расходы, связанные с продвижением квартир;

P – прочие непредвиденные расходы.

Целевая функция Ведомого выражается следующим образом:

$$J_B = G + G_d(\tau_{cp}-\tau_{в.р.}(G; R)) - R(G) - A(\tau_{в.р.}(G; R)) - M_B - P_B \rightarrow \max \quad (2)$$

где:

$R(G)$ – оплата труда рабочих, зависит от оплаты Заказчиком;

$A(\tau_{в.р.}(G; R))$ – расходы на аренду оборудования, зависящие от фактического времени выполнения;

M_B – затраты на маркетинг;

P_B — дополнительные расходы.

Ограничения по управлению:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}, \quad (3)$$

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, \quad (4)$$

$$0 \leq \tau_{в.р.}(G; R) \leq \tau_{\max} \quad (5)$$

Эти условия формируют систему (1)-(5), которая обладает иерархической структурой и позволяет определить равновесие по модели Штакельберга.

Алгоритм построения равновесия Штакельберга с обратной связью по управлению при побуждении

1. Находится стратегия наказания ведомого ведущим, если тот отказывается с ним сотрудничать.

$$L^{\text{наказ}} = \min_G \max_R J_B(R^{\text{наказ}}; G^{\text{наказ}}) = \arg \min_G \max_R J_B(R, G)$$

2. Решается задача ведущего (1.1), (1.3) – (1.5) $\max_{G,R} J_0(R, G)$ при условии $J_B(R, G) > L^{\text{наказ}}$. Находится стратегия поощрения ведомого ведущим, если ведомый будет сотрудничать с ведущим $(R^{\text{поощр}}; G^{\text{поощр}}) = \arg \max_{G,R} J_0(R, G)$.

3. Таким образом, равновесие Штакельберга с обратной связью по управлению при побуждении имеет вид:

$$\begin{cases} (R^{\text{поощр}}; G^{\text{поощр}}) = \arg \max_{G,R} J_0(R, G) \\ J_B(R, G) > L^{\text{наказ}} \end{cases}$$

Аналитическое исследование модели

Проведен анализ входных функций, входящих в систему (1)-(5), на основе исследований в области экономических и временных аспектов строительной деятельности [8–10]. Сделаны выводы о свойствах этих функций:

В проведенном исследовании [1] сказано, что:

– $G_d(\tau_{\text{ср}} - \tau_{\text{в.р.}}(G, R))$ – штрафная функция Генподрядчика, зависит от времени выполнения, убывающая по аргументу и ограниченная сверху:

$$G_d(\tau_{\text{ср}} - \tau_{\text{в.р.}}(G, R)) = -\tau_{\text{в.р.}} \cdot C_1 + C_2$$

– $O(\tau_{\text{в.р.}}(G, R))$ – функция доходности, связанная с оборачиваемостью капитала, вначале убывающая, затем возрастающая, ограниченная сверху и снизу:

$$O(\tau_{\text{в.р.}}(G, R)) = A \cdot \sin \sqrt{\tau_{\text{в.р.}}}$$

– $\tau_{в.р.}(G; R)$ – функция коэффициента времени, отражающая выполнение работ, является убывающей, выпуклой вниз функцией, ограниченной сверху и снизу:

$$\tau_{в.р.}(G; R) = \frac{C_5}{G \cdot T}, \quad C_5 > 0$$

- $M(\tau_{в.р.}(G, R))$ – функция затрат на маркетинг, являющиеся возрастающей и выпуклой вверх функцией:

$$M(\tau_{в.р.}(G, R)) = B \cdot \sin(\tau_{в.р.})^2$$

- $A(\tau_{в.р.}(G, R))$ – функция расходов на аренду оборудования, также возрастающая и выпуклая вверх функция, ограниченная по обе стороны.

$$A(\tau_{в.р.}(G, R)) = D \cdot \sin(\tau_{в.р.})^2$$

$G, U, C, P, M_B, \Pi_B = \text{const}$

Таким образом модель (1-5) принимает следующий вид:

$$J_0 = U + A \sin \sqrt{\frac{C_5}{GR}} - G + \frac{C_5}{GR} C_1 - 18C_1 - C - B \sin \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 - P \rightarrow \max \quad (6)$$

$$J_B = G - \frac{C_5}{GR} C_1 + 18C_1 - \frac{GC_5}{C_3} - D \sin \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 - M_B - \Pi_B \rightarrow \max \quad (7)$$

Итак, исследуется модель, описываемая системой (3)-(7).

Целевая функция ведущего:

$$J_0(G, R) = D + a \frac{C_5}{GR} + b \sqrt{\frac{C_5}{GR}} - G + \frac{C_5}{GR} C_1 - k \left(\frac{C_5}{GR}\right)^4 + l \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 \rightarrow \max \quad (1.1)$$

Где $D = S - 18C_1$

Целевая функция ведомого:

$$J_B = G - \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 C_1 - Q - 18C_1 - \frac{G}{C_3} - e \left(\frac{C_5}{GR}\right)^4 + f \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 \rightarrow \max \quad (1.2)$$

Ограничения на управления ведущего и ведомого возьмем в виде:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}, \quad (1.3)$$

$$R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, \quad (1.4)$$

Условие гомеостаза (условие живучести системы) – состоит в ограничении фактического времени выполнения работ:

$$0 \leq \tau_{в.р.}(G; R) \leq \tau_{max}; \tau_{max} = const \quad (1.5)$$

Найдем стратегию наказания ведомого ведущим

Заметим, что G – Это деньги, которые Заказчик выделяет Генеральному подрядчику, при стратегии наказания $G_{наказ.} = G_{min}$. $G_{min} = 0.1$. Определим $R_{наказ.}$

$$J_B = 0.1 - \left(\frac{C_5}{0.1R}\right)^2 C_1 - Q - 18C_1 - \frac{0.1}{C_3} - e \left(\frac{C_5}{0.1R}\right)^4 + f \left(\frac{C_5}{0.1R}\right)^2 \rightarrow max$$

где $Q = M_B + \Pi_B$

$$f > 0, C_1 > 0, f > C_1$$

Найдем точку максимума R^* . Для этого вычислим первую производную функции J_B по управлению R и приравняем ее нулю.

$$\frac{dJ_B}{dR} = \frac{2C_1 C_5^2}{0.1R^3} + \frac{4eC_5^4}{0.1R^5} - \frac{2fC_5^2}{0.1R^3} = 0$$

Отсюда

$$R_0 = \sqrt{\frac{2eC_5^2}{0.1(f - C_1)}}$$

Вторая производная J_B в этой точке меньше нуля, следовательно найдена точка максимума целевой функции ведомого

$$\frac{d^2 J_B}{dR^2} = 0.2C_1 C_5^2 - 0.2fC_5^2 < 0$$

В результате имеем, что оптимальное значение управления ведомого определяется формулой

$$R^* = \begin{cases} R_{min}, R_0 < R_{min} \\ R_0, R_{min} \leq R_0 \leq R_{max} \\ R_{max}, R_0 > R_{max} \end{cases}$$

или

$$R^* = \begin{cases} R_{min}, & \text{если } G_{min} > \frac{C_5}{R_{min}} \sqrt{\frac{2e}{0.1(f-C_1)}} \\ \sqrt{\frac{2eC_5^2}{0.1(f-C_1)}}, & \text{если } \frac{C_5}{R_{min}} * \sqrt{\frac{2e}{0.1(f-C_1)}} \leq G_{min} \leq \frac{C_5}{R_{max}} \sqrt{\frac{2e}{0.1(f-C_1)}} \\ R_{max}, & \text{если } G_{min} < \frac{C_5}{R_{max}} \sqrt{\frac{2e}{0.1(f-C_1)}} \end{cases}$$

Из этого следует, что:

$$R^{\text{наказ}} = R_{max}$$

Следовательно,

$$L^{\text{наказ}} = \min_G \max_R J_B(R^{\text{наказ}}; G^{\text{наказ}}) = G_{min} - \left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^2 C_1 - Q - 18C_1 -$$

$$\frac{G}{C_3} - e \left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^4 + f \left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^2$$

Далее найдем стратегию поощрения ведомого ведущим, если ведомый будет сотрудничать с ведущим

$$(R^{\text{поощр}}; G^{\text{поощр}}) = \arg \max_{G,R} J_0(R, G):$$

$$J_0(G^{\text{поощр}}, R^{\text{поощр}}) = D + a \frac{C_5}{GR} + b \sqrt{\frac{C_5}{GR}} - G + \frac{C_5}{GR} C_1 - k \left(\frac{C_5}{GR}\right)^4 + l \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 \rightarrow \max$$

$$J_B(R, G) = G - \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 C_1 - Q - 18C_1 - \frac{G}{C_3} - e \left(\frac{C_5}{GR}\right)^4 + f \left(\frac{C_5}{GR}\right)^2 > G_{min} -$$

$$\left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^2 C_1 - Q - 18C_1 - \frac{G}{C_3} - e \left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^4 + f \left(\frac{C_5}{G_{min}R_{max}}\right)^2$$

Так как задача не решается аналитически, решаем ее численно.

Решим задачу ведущего и найдем стратегию поощрения ведомого.

Результаты имитационных экспериментов

С помощью имитационного моделирования исследуется модель (1.1), (1.2). Были проведены имитационные эксперименты в соответствии с алгоритмами Штакельберга.

В табл.1 приведены входные параметры и результаты проведенных имитационных экспериментов, в первом столбце записан номер примера.

Таблица 1

Результаты численных экспериментов при имитационном
моделировании

N	G_{min}	G_{max}	R_{min}	R_{max}	S	C1	C2	C5	a	b
1	0.1	150	30	75	676	7	2	50	4	6
2	0.1	150	30	75	676	5	2	5	4	6
3	0.1	150	30	75	676	5	2	150	4	6
4	0.1	150	30	75	676	2	17	50	12	6
5	0.1	150	30	75	676	2	1	50	17	6
6	0.1	150	30	75	676	2	2	50	4	18
7	0.1	150	30	75	676	2	2	50	4	1
8	0.1	150	30	75	676	2	2	50	4	1
9	0.1	150	30	75	676	2	2	50	4	6
10	0.1	150	30	75	676	2	2	50	4	6

Таблица 1

(продолжение)

N	e	f	k	l	$R_{\text{поощ.}}$	$G_{\text{поощ.}}$	J_0	J_B
1	12	8	7	6	75	75	476	-78
2	12	6	7	6	30	75	511	-42
3	12	6	7	6	75	75	512	-42
4	12	4	7	6	30	75	566	12
5	12	4	7	6	75	75	598	12
6	12	9	7	6	31	75	597	12
7	12	4	7	6	58	75	565	12
8	12	3	7	6	75	75	575	12
9	1	4	15	2	30	75	566	12
10	30	4	2	26	75	75	566	12

Анализ результатов

Обширное исследование, включающее имитационные эксперименты, некоторые из которых представлены в таблице 1, позволило сформулировать следующие ключевые выводы:

1. Результаты моделирования показывают, что использование равновесия Штакельберга с обратной связью по управлению при побуждении обеспечивает Заказчику более высокий выигрыш по сравнению с классической моделью равновесия Штакельберга без такого механизма [1].

2. Внедрение информационного регламента в игру Штакельберга с обратной связью способствует сокращению сроков реализации проекта и снижению потенциальных убытков Заказчика в случае некачественного или недоброжелательного поведения Генерального подрядчика.

3. Анализ зависимости выигрыша Генерального подрядчика J_B от коэффициента C_1 , отражающего уровень ошибок и недочетов на строительной площадке, при различных значениях коэффициента C_2 (характеризующего уровень применяемых BIM-технологий), показывает линейную убывающую функцию. Максимальный выигрыш обоих участников достигается при $C_2 = 2$.

4. Исследование взаимосвязи между выигрышем Заказчика J_0 и коэффициентом b (характеризующим качество арендуемой техники) выявило резкий рост, за которым последовало плавное и медленное увеличение.

5. Анализ зависимости прибыли Заказчика J_0 и Генерального подрядчика J_B от коэффициента f , отвечающего за качество готовых объектов (квартир), показывает снижение выигрыша обеих сторон с увеличением f .

Заключение

В ходе изучения математической модели были сделаны важные выводы:

- Увеличение коэффициента $C1$, означающего время возведения здания, негативно сказывается на доходе Генподрядчика, поскольку он рискует получить штрафы от Заказчика.

- Рост значения коэффициента f способствует увеличению дохода Заказчика.

- Повышение уровня оплаты труда рабочих со стороны Генподрядчика положительно сказывается на доходах обеих сторон.

- Внедрение равновесия Штакельберга с обратной связью по управлению при побуждении позволяет Заказчику повысить свой выигрыш и создает стимулы для Генподрядчика соблюдать сроки и качество работ согласно требованиям Заказчика.

- Полное использование Генподрядчиком выделенной фиксированной суммы на строительство ускоряет реализацию проекта и способствует максимизации выигрыша как Заказчика, так и Генподрядчика. Краткие сроки выполнения строительства позволяют Заказчику дополнительно увеличить свой выигрыш за счет более быстрой оборачиваемости денежных средств.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФН проект № 25-11-00094

Литература

1. Довыборцев Г.А., Усов А.Б. Математическая модель управления инвестиционно-строительными проектами // Инженерный вестник Дона. 2025. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9980

2. Афанасьев В. А. Варламов Н. В. Организация и управление в строительстве. Основные понятия и термины: Учебн. -справ. пособие — Изд-во АСВ; СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 1998. -316 с.



3. Бабин А. С. Васильев В. М. Управление строительными инвестиционными проектами: Учебн. Пособие — Изд-во АСВ, 1997. —216 с.

4. Васильев В. М. Панибратов Ю. П. Управление в строительстве — Изд-во АСВ, 1994. — 160 с.

5. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. — Стройиздат, 1990. — 232 с.

6. Frank Harris and Ronald Mccaffer. Modern Construction Management. - Wiley-Francis. Edum-Fotwe.-2012. - p.262-281.

7. Кораблина Э.В., Усов А.Б. Равновесие Штакельберга в модели согласования частных и общественных интересов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5516

8. Караваева Н. М., Федоров А. В., Платонов А. М. Управление инвестиционно-строительными проектами в девелопменте: Учебн. пособие - Издательство Уральского университета, 2021. — 86 с. URL: elar.urfu.ru/handle/10995/105756

9. Теслюк Л.М., Румянцева А.В. Оценка эффективности инвестиционного проекта: Учебн. пособие - Издательство Уральского университета, 2014. — 140 с. URL: elar.urfu.ru/handle/10995/27977

10. Kumar S. and Zander M. Supply Chain Cost Control Using Activity-Based Management. - Auerbach Publications. London.-2006.- p.55-75.

References

1. Dovybortsev G. A., Usov A. B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9980

2. Afanas`ev V. A. Varlamov N. V. Organizaciya i upravlenie v stroitel`stve. Osnovny`e ponyatiya i terminy`[Organization and management in construction. Basic concepts and terms]: Uchebn.-sprav. posobie, Izd-vo ASV; SPb.: Izd-vo SPbGASU, 1998. 316 p.



3. Babin A. S. Vasil'ev V. M. Upravlenie stroitel'ny`mi investicionny`mi proektami [Management of construction investment projects]: Uchebn. Posobie, Izd-vo ASV, 1997. 216 p.
4. Vasil'ev V. M. Panibratov Yu. P. Upravlenie v stroitel'stve [Construction management], Izd-vo ASV, 1994. 160 p.
5. Afanas'ev V. A. Potochnaya organizaciya stroitel'stva [Flow organization of construction]. Strojizdat, 1990. 232 p.
6. Frank Harris and Ronald Mccaffer. Modern Construction Management. Wiley-Francis. Edum-Fotwe. 2012. pp.262-281.
7. Korablina E. V., Usov A. B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5516
8. Karavaeva N. M., Fedorov A. V., Platonov A. M. [Evaluation of the effectiveness of an investment project]. Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2021. 86 p. URL: elar.urfu.ru/handle/10995/105756
9. Teslyuk L. M., Romyanceva A. V. [Evaluation of the effectiveness of an investment project] Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2014. 140 p. URL: elar.urfu.ru/handle/10995/2797710.
10. Kumar S. and Zander M. Supply Chain Cost Control Using Activity-Based Management. Auerbach Publications. London. 2006. p.55-75.

Дата поступления: 26.07.2025

Дата публикации: 26.09.2025