Инженерный вестник Дона, №4 (2025)
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9980

Математическая модель управления инвестиционно-строительными проектами

Г.А. Довыборцев, А.Б. Усов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Предложена двухуровневая математическая модель оптимального управления инвестиционно-строительными проектами. В качестве субъекта управления верхнего уровня или ведущего в модели выступает Заказчик. Субъектом нижнего уровня является Генеральный Подрядчик. Предполагается, что оба субъекта управления стремятся к максимизации своего выигрыша. В целевой функции ведущего учитывается расчетный фиксированный доход от продаж квартир, прибыль от скорости обращения денег, средняя расчетная оплата за работы. В целевой функции ведомого – оплата работ от Заказчика, дополнительная оплата либо штраф, оплата труда рабочим. При исследовании модели используется информационный регламент игры Штакельберга. Приведен алгоритм построения решения. В общем случае задача решается численно путем имитационного моделирования. Приведены результаты численных экспериментов. Сделан ряд выводов.

Ключевые слова: двухуровневая иерархическая модель, равновесие Штакельберга, заказчик, генеральный подрядчик, ведущий, ведомый.

Введение

Современная динамика демографического роста и стремление к повышению качества жизни стимулируют расширение жилищного строительства. Масштабное возведение жилых комплексов требует внедрения передовых методов оптимизации строительных процессов. Ключевыми параметрами успешности проектов выступают оперативность строительства и грамотное управление рентабельностью при реализации жилых площадей.

Комплексный характер инвестиционно-строительной деятельности подразумевает целенаправленное воплощение строительных решений с привлечением капиталовложений для максимизации финансового результата. Современная модель организации строительства базируется на взаимодействии основных участников процесса. Заказчик осуществляет общее руководство проектом, а генеральный подрядчик выполняет строительно-монтажные работы согласно договорным обязательствам.

Многоквартирное жилищное строительство занимает приоритетное положение среди инвестиционных проектов. Результативность деятельности заказчика напрямую влияет на обеспеченность населения жильем и экономические показатели всех участников строительства. Рациональное распределение ресурсов и контроль сроков реализации проекта определяют успешность достижения поставленных целей.

Эффективность инвестиционных вложений в строительную отрасль напрямую зависит от грамотного управления временными параметрами проекта. Математическое моделирование с применением сетевых графов и метода критического пути позволяет оптимизировать сроки выполнения строительных работ [1]. Планирование и контроль выступают основными механизмами управления продолжительностью проекта, где первый этап включает моделирование строительной системы, а второй обеспечивает мониторинг выполнения работ.

Современная методология проектного управления предлагает комплексный инструментарий для оптимизации временных затрат через выявление приоритетных задач и формирование структурированного календарного плана. Организационные аспекты увеличения длительности проекта, описанные в работе [2], включают некорректный подбор подрядных организаций, погрешности планирования и несоответствие условий реализации намеченным срокам. Исследование [3] выделяет специфику управления строительными проектами через призму четырех моделей взаимодействия заказчиков с подрядными и проектными организациями: среднесрочное планирование, циклическое выполнение этапов, тендерное размещение заказов, комплексный надзор за реализацией. Анализ деятельности генеральных подрядчиков [4] раскрывает эффективные методы организации работ. Исследование [5] детализирует структуру взаимоотношений заказчика и генподрядчика, выявляя профессиональные недочеты на каждом этапе взаимодействия. Отсутствие структурированного механизма финансирования генподрядных организаций существенно влияет на конечную стоимость строительных проектов. Современный рынок строительства нуждается в эффективных методах прогнозирования затрат на подрядные работы до проведения тендерных процедур.

Моделирование системы контроля над генподрядными организациями требует внедрения двухуровневой иерархической структуры управления проектами [6]. Первый уровень представлен заказчиком строительства, определяющим финансовую стратегию и распределение средств для максимизации прибыли. Второй уровень занимает генеральный подрядчик, обеспечивающий реализацию контрактных обязательств при соблюдении собственных коммерческих интересов.

Разработанная математическая модель оптимального управления строительными проектами основана на алгоритме равновесия Штакельберга. Применение данной модели позволяет заказчикам повысить рентабельность проектов при одновременном снижении рыночной стоимости жилья.

Математическая постановка задачи

Предлагается двухуровневая иерархическая модель оптимального управления инвестиционно-строительных проектов, включающая субъекты управления верхнего и нижнего уровня [7].

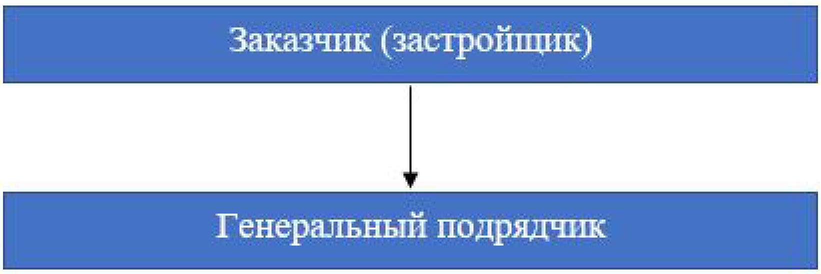

Рис. 1. – Схема двухуровневой иерархической модели оптимального управления инвестиционно-строительных проектов

В качестве субъекта управления верхнего уровня (ведущего) выступает заказчик (застройщик), а в качестве субъекта управления нижнего уровня (ведомого) – генеральный подрядчик. Каждый из участников системы стремится к максимизации своего дохода. Рассмотрим целевую функцию Ведущего:

$$J_0 = \text{U} + \text{O}(\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})) - G - G_{\text{д}}(\tau_{\text{ср}}\text{-}\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})) - \text{C} - \text{M}(\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})) - P \longrightarrow max \qquad (1)$$

где G – расчетная оплата за работы Генеральному подрядчику; $G_{\text{д}}(\tau_{\text{ср}}\text{-}\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T}))$ – дополнительная оплата (премия) Генеральному подрядчику либо штраф, зависящая от оплаты труда рабочим Генеральным подрядчиком; U – расчетный фиксированный доход от продаж квартир построенного здания, $\text{O}(\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T}))$ – доход от скорости обращения денег, который зависит от фактического коэффициента времени выполнения работ; $\tau_{\text{ср}}$ – средний расчетный коэффициент времени выполнения работ; $\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})$ – фактический коэффициент времени выполнения работ, который зависит от средней расчетной оплаты за работы Ведомому и оплаты труда рабочим Генеральным подрядчиком; C – расчетная себестоимость строительства, за исключением затрат на Ген. подрядчика; $\text{M}(\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T}))$ – затраты на маркетинг для продажи квартир, которые зависят от фактического коэффициента времени выполнения работ; P – прочие расходы на непредвиденные обстоятельства (переделать документы для приемки, исправить ошибки и т.д.).

Целевая функция Ведомого имеет вид:

$$J_{\text{в}} = G + G_{\text{д}}(\tau_{\text{ср}}\text{-}\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})) - \text{T}(G) - \text{A}(\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{T})) - \text{M}_{\text{в}} - \text{П}_{\text{в}} \longrightarrow max \qquad (2)$$

где $\text{T}(G)$ – оплата труда рабочим Ген. Подрядчиком, зависящая от оплаты за работы от Заказчика. Это часть средств, полученная от заказчика;

$А(\tau_{\text{в.р.}}(G; \text{Т}))$ – затраты на аренду техники и приспособлений, зависящие от фактического коэффициента времени выполнения работ. Это часть средств, полученная от заказчика; $М_{\text{в}}$ – затраты на маркетинг (рекламу) по поиску клиентов Ген. Подрядчику; $П_{\text{в}}$ – прочие расходы Ген. Подрядчика (реклама о наборе кадров и т. д.).

Ограничения на управления ведущего и ведомого возьмем в виде:

$$G_{\min} \leq G \leq G_{\max}, \tag{3}$$

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max}, \tag{4}$$

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

$$0 \leq \tau_{\text{в.р.}}(G; \text{Т}) \leq \tau_{max}; \tau_{max} = const \tag{5}$$

Таким образом, система описывается системой (1)-(5). Система имеет иерархическую структуру и в ней строится равновесие Штакельберга.

Алгоритм построения равновесия Штакельберга при побуждении

1. Решается задача ведомого (2), (4). Находится его оптимальное управление в зависимости от управления ведущего $T^* = T^*(G)$.
2. Найденная на первом шаге функция $T^* = T^*(G)$ подставляется в (1), (5).
3. Решается задача (1), (3), (5). Находится оптимальное значение G^*.
4. Равновесие Штакельберга имеет вид $(T^*(G^*), G^*)$.

Аналитическое исследование модели

Проведем идентификацию входных функций, входящих в (1)-(5): На основе анализа ряда монографий и статей, среди которых выделим [8-10], где описан процесс большинства экономических и временных аспектов в строительной компании, можно сделать вывод о свойствах входных функций модели.

- Функция $G_{д}(\tau_{ср}\text{-}\tau_{в.р.}(G,T))$ – функция штрафа Генподрядчика, зависящая от времени строительства $\tau_{в.р.}$ Чем дольше строительство, тем больший штраф получит Ген. Подрядчик и, соответственно, чем быстрее строительство, тем большую доп. оплату он получит. Поэтому в качестве функции $G_{д}(\tau_{ср}\text{-}\tau_{в.р.}(G,T))$ следует выбрать убывающую по своему аргументу линейную функцию, ограниченную сверху, неограниченную снизу.

$G_{д}(\tau_{ср}\text{-}\tau_{в.р.}(G,T)) = -\ \tau_{в.р.}C_1+C_2$

В [8] указано, что среднее время строительства современного многоэтажного односекционного жилого дома составляет 18 месяцев. Поэтому в качестве функции $G_{д}$ взята функция:

$G_{д0}$= -18 C_1+C_2 коэффициент

При фактическом коэффициенте времени выполнения работ равном среднему коэффициенту времени строительства $\tau_{в.р.}= \tau_{ср}$, значение премии или штрафа Ген. Подрядчика $G_{д}$=0

$\Rightarrow 0 = -18\ C_1+C_2,\ C_2= 18\ C_1$

$\Rightarrow G_{д}= -\tau_{в.р.}C_1+18C_1$

Где C_1=300 тыс. р (допустим) (здесь заказчик сам выбирает какая сумма премии или штрафа за 1 месяц отклонения от среднего значения времени)

- Функция $O(\tau_{в.р.}(G,T))$ – функция, зависящая от времени строительства $\tau_{в.р.}$ Представляет собой значение оборачиваемости от вложенных денег. Чем меньше времени займет строительство, тем больше получится заработать заказчику. Поэтому функция $O(\tau_{в.р.}(G,T))$ вначале убывающая по своему аргументу, а затем возрастающая функция, ограниченная снизу и сверху.

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

- Функция $\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{Т})$ – функция, зависящая от оплаты Заказчика за работы Генеральному подрядчику G и от оплаты труда рабочим Ген. Подрядчиком. Отражает фактический коэффициент времени выполнения работ. Поэтому в качестве функции $\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{Т})$ следует выбрать убывающую по своим аргументам выпуклую вниз функцию, ограниченную сверху и снизу.

  $\tau_{\text{в.р.}}(G;\text{Т}) = \frac{\text{С}5}{G*T}$,

  где C_5>**0**

- Функция $\text{М}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T))$ – функция, зависящая от времени строительства $\tau_{\text{в.р.}}$ Представляет собой затраты на рекламу и продвижение. Чем меньше значение времени, тем больше затрат в начале и тем меньше затрат в конце. Чем больше значение времени, тем больше затрат за весь период. Поэтому в качестве функции $\text{М}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T))$ следует выбрать возрастающую по своему аргументу выпуклую вверх функцию, ограниченную снизу и сверху.

  $\text{М}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T)) = \text{В} \cdot sin\left(\gamma\tau_{\text{в.р.}} + \delta\right)$

  Где $\gamma = 1; \delta = 0$

  $\Rightarrow \text{М}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T)) = \text{В} \cdot sin(\tau_{\text{в.р.}})^2$

- Функция $\text{А}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T))$ – функция, зависящая от времени строительства $\tau_{\text{в.р.}}$ Отражает затраты на аренду техники и приспособлений. Чем быстрее строительство, тем меньше затрат на аренду. Поэтому в качестве функции $\text{А}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T))$ следует выбрать возрастающую по своему аргументу выпуклую вверх функцию, ограниченную снизу и сверху.

  $\Rightarrow \text{А}(\tau_{\text{в.р.}}(G,T)) = \text{D} \cdot sin\left(\tau_{\text{в.р.}}\right)^2$

G, U, C, P, $\text{М}_\text{в}$, $\text{П}_\text{в}$ = const

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

$$J_0 = \mathrm{U} + \mathrm{A}\,sin\sqrt{\frac{C_5}{GT}} - G + \frac{C_5}{GT}\mathrm{C}_1 - 18C_1 - \mathrm{C} - \mathrm{B}\,sin\left(\frac{C_5}{GT}\right)^2 - P \longrightarrow max \quad (6)$$

$$J_{\text{в}} = G - \frac{\mathrm{C}_5}{GT}\mathrm{C}_1 + 18\mathrm{C}_1 - \mathrm{GC}_3 - \mathrm{D}\,sin\left(\frac{C_5}{GT}\right)^2 - \mathrm{M}_{\text{в}} - \Pi_{\text{в}} \longrightarrow max \quad (7)$$

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

Сначала исследуем функцию ведомого.

$$J_{\text{в}} = G - \left(\frac{\mathrm{C}_5}{GT}\right)^2 \mathrm{C}_1 + \mathrm{Q} + 18\mathrm{C}_1 - \mathrm{GC}_3 - \mathrm{e}\left(\frac{C_5}{GT}\right)^4 + \mathrm{f}\left(\frac{C_5}{GT}\right)^2 \longrightarrow max$$

где $\mathrm{Q} = -\mathrm{M}_{\text{в}} - \Pi_{\text{в}}$

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

Найдем точку максимума T^*. Для этого вычислим первую производную функции $J_{\text{в}}$ по управлению T и приравняем ее к нулю.

$$\frac{dJ_{\text{в}}}{dT} = \frac{2\mathrm{C}_1\mathrm{C}_5^2}{G^2T^3} + \frac{4e\mathrm{C}_5^4}{G^4T^5} - \frac{2f\mathrm{C}_5^2}{G^2T^3} = 0$$

Отсюда

$$T_0 = \sqrt{\frac{2e\mathrm{C}_5^4}{\mathrm{C}_2^2G^2(f - \mathrm{C}_1)}}$$

Вторая производная $J_{\text{в}}$. Строго меньше нуля, следовательно найдена точка максима целевой функции ведомого:

$$\frac{d^2J_{\text{в}}}{dT} = 2\mathrm{C}_1\mathrm{C}_5^2G^2 - 2\mathrm{fC}_5^2G^2 < 0$$

В результате имеем, что оптимальное значение управления ведомого определяется формулой:

$$T^* = \begin{cases} T_{min}, T_0 < T_{min} \\ T_0,\ T_{min} \le T_0 \le T_{max} \\ T_{max}, T_0 > T_{max} \end{cases}$$

или

$$T^{*}=\begin{cases} T_{min}, \text{ если } G > \dfrac{C_5^2}{C_2\,T_{min}}\sqrt{\dfrac{2e}{(f-C_1)}} \; (=G_1) \\ \sqrt{\dfrac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}, \text{ если } \dfrac{C_5^2}{C_2\,T_{min}} * \sqrt{\dfrac{2e}{(f-C_1)}} \le G \le \dfrac{C_5^2}{C_2\,T_{max}}\sqrt{\dfrac{2e}{(f-C_1)}} \\ T_{max}, \text{ если } G < \dfrac{C_5^2}{C_2\,T_{max}}\sqrt{\dfrac{2e}{(f-C_1)}} \; (=G_2) \end{cases}$$

Пусть $G_{min} < G_2 < G_1 < G_{max}$

Тогда задача нахождения оптимальной стратегии Ведущего распадается на 3 подзадачи:

1) $G_1 <= T^* <= G_{max}$

Тогда $T^* = T_{min}$, а J_0 принимает вид:

$$J_0(G,T^*) = S + a\frac{C_5}{GT_{min}} + b\sqrt{\frac{C_5}{GT_{min}}} - G + \frac{C_5}{GT_{min}}C_1 - 18C_1 - k\left(\frac{C_5}{GT_{min}}\right)^4 + l\left(\frac{C_5}{GT_{min}}\right)^2$$

Берем производную $\frac{dJ_0}{dG}$:

$$\frac{dJ_0}{dG} = \frac{4C_5^4k}{G^5T_{min}^4} - \frac{aC_5 + C_1C_5}{G^2T_{min}} - \frac{b\sqrt{C_5}}{2\sqrt{T_{min}}G^{\frac{3}{2}}} - \frac{2C_5^2l}{G^3T_{min}^2} - 1$$

Возникает уравнение третьей степени, и оно не решается аналитически, поэтому решаем численно.

2) $G_2 <= T^* <= G_1$

Тогда $T^* = \sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}$, а J_0 принимает вид:

$$J_0(G,T^*) = S + a\frac{C_5}{G\sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}} + b\sqrt{\frac{C_5}{G\sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}}} - G + \frac{C_5}{G\sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}}C_1 - 18C_1 - k\left(\frac{C_5}{G\sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}}\right)^4 + l\left(\frac{C_5}{G\sqrt{\frac{2eC_5^4}{C_2^2G^2(f-C_1)}}}\right)^2$$

Берем производную $\frac{dJ_0}{dG}$:

$$\frac{dJ_0}{dG} = \frac{G^3k(f-C_1)^2}{e^2C_5^4} + \frac{(a+C_1)\sqrt{f-C_1}}{\sqrt{2}\sqrt{e}\,C_5^2} + \frac{b\sqrt{\sqrt{f-C_1}}}{2\sqrt{\sqrt{2}\sqrt{e}C_5G}} - \frac{2Gl(f-C_1)}{2eC_5^2} - 1$$

Возникает уравнение третьей степени, и оно не решается аналитически, поэтому решаем численно.

3) $G_{min} <= T^* <= G_2$

Тогда $T^* = T_{max}$, а J_0 принимает вид:

$$J_0(G,T^*) = S + a\frac{C_5}{GT_{max}} + b\sqrt{\frac{C_5}{GT_{max}}} - G + \frac{C_5}{GT_{max}}C_1 - 18C_1 - k\left(\frac{C_5}{GT_{max}}\right)^4 + l\left(\frac{C_5}{GT_{max}}\right)^2$$

Берем производную $\frac{dJ_0}{dG}$:

$$\frac{dJ_0}{dG} = \frac{4C_5^4k}{G^5T_{max}^4} - \frac{aC_5 + C_1C_5}{G^2T_{max}} - \frac{b\sqrt{C_5}}{2\sqrt{T_{max}}G^{\frac{3}{2}}} - \frac{2C_5^2l}{G^3T_{max}^2} - 1$$

Возникает уравнение третьей степени, и оно не решается аналитически, поэтому решаем численно.

Найдем G^* численно с учетом условия гомеостаза, так как аналитически вычислить G^* невозможно.

Результаты имитационных экспериментов

С помощью имитационного моделирования исследуется модель (6), (7). Были проведены имитационные эксперименты в соответствии с алгоритмами Штакельберга.

Численные эксперименты проводились в случае входных данных: G_{min}=75 млн руб., G_{max}=150 млн руб., T_{min}=30 млн руб., T_{max}=75 млн руб., S=676 млн руб, Q=8 млн руб. Варьировались величины C_1, C_2, C_5, a, b, e, f, k, *l*. C_1 от 1 до 20; C_2 от 1 до 35; C_5 от 5 до 60; *a* от 4 до 20; *b* от 1 до 18; *e* от 1 до 30; *f* от 2 до 22; *k* от 2 до 15; *l* от 2 до 26.

Результаты некоторых экспериментов приведены в таблице 1. Результатами являются в каждом примере выигрыш ведущего и выигрыш ведомого.

Таблица 1

Результаты численных экспериментов

N	C_1	C_2	b	f	J_0, млн руб.	$J_в$, млн руб.
1	2	2	6	4	566	12
2	3	2	6	4	548	-6
3	2	2	18	9	568	12
4	13	2	6	22	368	-186
5	7	2	6	8	476	-78
6	12	34	6	14	386	-168
7	2	2	1	4	565	12
8	2	2	1	3	565	12
9	20	2	6	22	242	-312
10	1	2	6	2	583	30

где G_{min} = 75 млн. руб.; G_{max} = 120 млн. руб.; T_{min} = 30 млн. руб.; T_{max} = 75 млн. руб.; S = 676 млн. руб.; C_5 = 50; a = 4; e = 12; k = 7; l = 6.

Анализ результатов

Анализ проведенных имитационных экспериментов, результаты части которых приведены в таблице 1, позволил сделать следующие выводы:

1. Третий интервал заданного диапазона значений не является целесообразным, т. к. значения оплаты Заказчика Генподрядчику G_{max} и оплаты работникам от Генподрядчика T_{min} колоссально отличаются, что приводит к большому увеличению себестоимости инвестиционно-строительного проекта для Заказчика.

2. Результаты второго интервала заданного диапазона значений удовлетворяют запросы Заказчика и Генподрядчика, являются теми значениями, которые присутствуют на практике в настоящее время.

3. Результаты первого интервала заданного диапазона показывают большее значение выигрыша для Заказчика и уменьшение сроков строительства.

4. Анализ зависимости выигрыша Генподрядчика $J_в$ от коэффициента C_1 при разных значениях C_2 показывает примерно одинаковые результаты, но максимальное значение выигрыша ведомого $J_в$ фиксируется при $C_2 = 2$.

5. Анализ зависимости выигрыша Заказчика J_0 от коэффициента a показывает резкий скачок вначале и последующее плавное медленное увеличение значения выигрыша ведущего J_0 при идеальных условиях.

6. Анализ зависимости прибыли Заказчика J_0 и Генподрядчика $J_в$ от коэффициента f показывает уменьшение выигрыша обоих участников при увеличении значения f.

Заключение

В процессе исследования математической модели были сделаны следующие выводы:

– чем больше значение коэффициента C_1, который связан с фактическим коэффициентом времени строительства, тем меньше заработает Генподрядчик, потому что получит штраф от Заказчика;

– чем больше значение коэффициента f, тем больше заработает Заказчик;

– чем больше значение оплаты труда рабочим от Генподрядчика, тем больше заработает и Заказчик и Генподрядчик;

– использование метода снижения фиксированной оплаты и введения системы премирования либо штрафа за сроки строительства для Генподрядчика позволяет Заказчику увеличить значение своего выигрыша и создать условия, при которых Генподрядчику будет выгоднее выполнить работы за кротчайший срок с сохранением качества, указанного в П и РД (Проектной и Рабочей документации);

– взаимодействие Заказчика и Генподрядчика, а именно, полное использование Генподрядчиком выделенной фиксированной оплаты на строительство, позволяет ускорить строительство и извлечь максимальный выигрыш как Заказчику, так и Генподрядчику. А короткие сроки строительства в динамике позволяют Заказчику еще больше увеличить свой выигрыш за счет быстрой оборачиваемости денежных средств.

Литература

1. 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.

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

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

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

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

6. 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

7. Нинидзе Д.Л., Усов А.Б. Модель согласования частных и общественных интересов при внедрении инноваций // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5433

8. Н. М. Караваева, А. В. Федоров, Платонов А. М. Управление инвестиционно-строительными проектами в девелопменте: Учебн. пособие - Издательство Уральского университета, 2021. — 86 с. URL: http://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: https://elar.urfu.ru/handle/10995/27977

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

References

1. 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.

2. 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.

3. Vasil`ev V. M. Panibratov Yu. P. Upravlenie v stroitel`stve [Construction management], Izd-vo ASV, 1994. 160 p.

4. Afanas`ev V. A. Potochnaya organizaciya stroitel`stva [Flow organization of construction]. Strojizdat, 1990. 232 p.

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

6. Korablina E`.V, Usov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5516

7. Ninidze D.L., Usov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5433

8. N. M. Karavaeva, A. V. Fedorov, 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., Rumyanceva 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. pp.55-75.

Дата поступления: 19.02.2025

Дата публикации: 26.03.2025