

Выбор технологии возведения шпунтового ограждения методом анализа иерархий

В.В. Гарашко, Е.В. Иванчук

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В работе рассматривается выбор оптимальной технологии возведения шпунтового ограждения на основе метода анализа иерархий. Принятие решений в строительной практике требует учета множества факторов, включая внутренние (себестоимость, надежность, скорость выполнения работ) и внешние локальные условия (опасность перебоев в снабжении материалами, влияние погодных условий, работы в стесненных условиях). Метод анализа иерархий позволяет формализовать процесс принятия решений, структурируя задачу в виде иерархии и проводя попарное сравнение альтернатив. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ технологий забивки, вибропогружения и статического вдавливания шпунтовых свай. Были рассчитаны векторы приоритетов для каждого критерия, проведена проверка согласованности матриц. Итоговый выбор технологии обоснован на основе интеграции внутренних и внешних факторов. Полученные результаты позволяют рекомендовать оптимальную технологию, учитывающую технические и организационные особенности строительного процесса.

Ключевые слова: шпунтовое ограждение, выбор технологии, метод анализа иерархий, критерии выбора, строительные технологии, попарное сравнение, векторы приоритетов.

Современные технологии возведения шпунтовых ограждений играют ключевую роль в обеспечении устойчивости строительных конструкций при выполнении работ в сложных инженерно-геологических условиях. Выбор оптимальной технологии является многокритериальной задачей, поскольку необходимо учитывать не только экономические, но и технические, организационные и внешние факторы.

Традиционные методы выбора технологий часто основаны на субъективных оценках и не обеспечивают системного подхода к принятию решений. Метод анализа иерархий (МАИ) предоставляет формализованный подход, который позволяет не только учитывать субъективные суждения, но и объективно структурировать задачу на основе множества критериев [1, 2]. В связи с этим применение формализованных методов, таких как метод анализа иерархий, становится особенно актуальным. Этот метод позволяет структурировать задачу в виде иерархической модели, проводить попарные

сравнения альтернатив по ряду критериев и количественно оценивать их приоритетность.

В данной работе рассматриваются три технологии возведения шпунтового ограждения: забивка, вибропогружение и статическое вдавливание. Для каждой из них проводится анализ на основе внутренних факторов (себестоимость, надёжность, скорость выполнения работ) и внешних условий (опасность перебоев в снабжении материалами, влияние ветреной погоды, работы в стеснённых условиях). Основной целью исследования является разработка модели принятия решений, позволяющей обоснованно выбрать наиболее эффективную технологию для конкретных условий строительства [3, 4].

Целью данной статьи является разработка и обоснование методики выбора оптимальной технологии возведения шпунтового ограждения с использованием метода анализа иерархий, учитывающей как внутренние (себестоимость, надёжность, скорость выполнения работ), так и внешние факторы (опасность перебоев в снабжении материалами, влияние погодных условий, работы в стеснённых условиях).

Результаты исследования могут быть использованы как в проектной практике, так и для оптимизации строительных процессов в условиях ограниченных ресурсов и сложных внешних факторов.

Метод анализа иерархий, разработанный Томасом Саати, является одним из наиболее универсальных и широко применяемых методов для многокритериального принятия решений. Он доказал свою эффективность в различных областях, включая управление проектами, оптимизацию ресурсов и особенно в строительной практике, где необходимо учитывать множество факторов, влияющих на выбор технологий и организацию строительных процессов.

В своей книге «Принятие решений. Метод анализа иерархий» Саати подробно описывает теоретические основы метода и демонстрирует его практическое применение. МАИ позволяет структурировать сложные задачи в виде иерархической модели, где верхний уровень представляет собой общую цель, средний – критерии, а нижний – альтернативные решения. Этот подход обеспечивает комплексную оценку, позволяя учитывать, как количественные, так и качественные параметры, что делает метод особенно ценным при выборе технологий с учетом технических, экономических и организационных факторов.

Метод МАИ также получил развитие в работах, посвященных многокритериальным моделям принятия решений в условиях неопределенности. В частности, Chaume и Abdellah продемонстрировали эффективность МАИ в оптимизации производственных процессов и принятии инженерных решений [5]. Например, в книге В. Е. Жуковина «Многокритериальные модели принятия решений с неопределенностью» рассматриваются практические аспекты использования МАИ для оптимизации народнохозяйственных задач. Дополнительные исследования, такие как работы Н. И. Маркозашвили и А. В. Москаева, фокусируются на применении метода в условиях ограниченных ресурсов и сложных внешних факторов.

В рамках данного исследования для выбора технологии возведения шпунтового ограждения была построена иерархическая модель (рис. 1), на верхнем уровне которой находится цель исследования, на среднем – критерии, а на нижнем – альтернативные технологии. Каждая пара критериев и технологий была сравнена между собой с использованием шкалы Саати (от 1 до 9), что позволило сформировать матрицы попарных сравнений и провести всесторонний анализ для обоснованного выбора оптимальной технологии. Как отмечают Can и Gelgör, использование матриц попарных

сравнений позволяет систематически оценить важность каждого критерия и достичь высокой степени согласованности в процессе принятия решений [6].

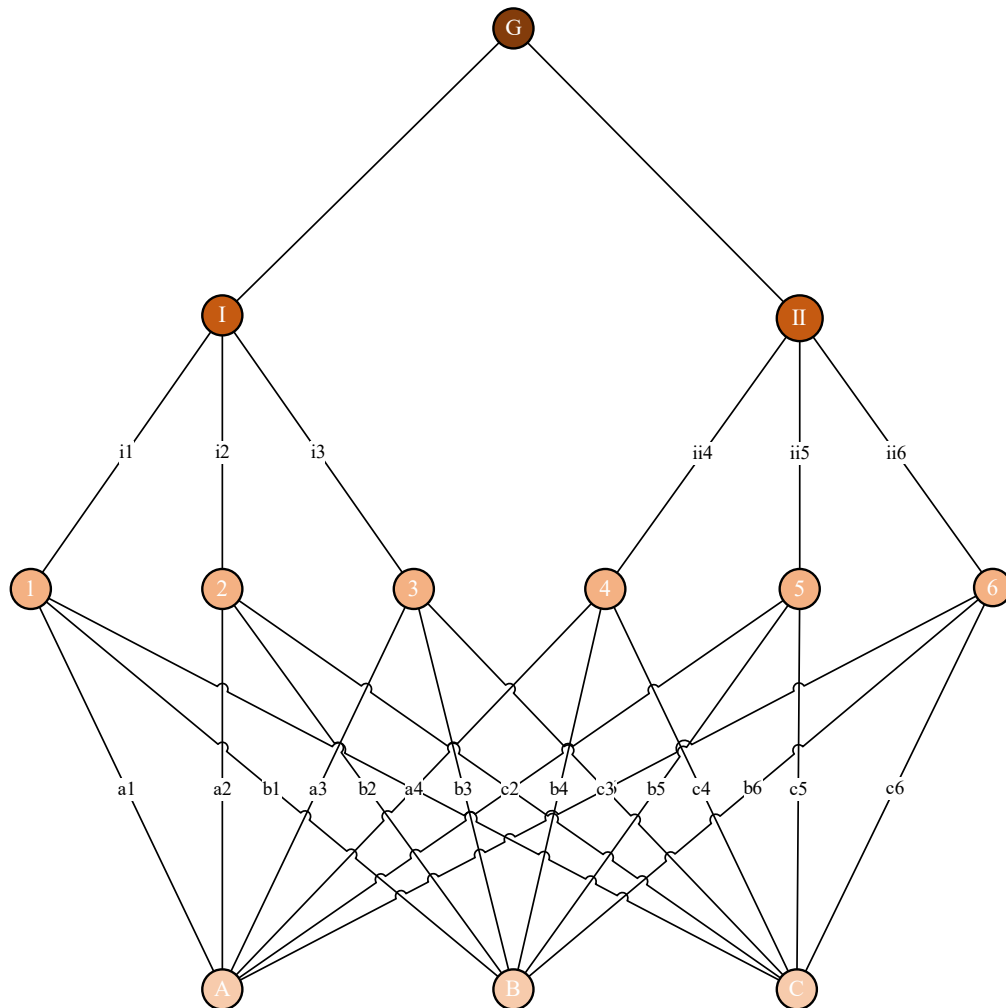


Рис. 1. – Иерархическая модель выбора технологии возведения шпунтового ограждения: G – цель; I – внутренние факторы; II – внешние факторы; i_n – веса критериев внутренних локальных факторов; ii_n – веса критериев внешних локальных факторов; a_n, b_n, c_n – веса критериев рассматриваемой технологии относительно критериев внутренних и внешних факторов; A, B, C – забивка, вибропогружение и статическое вдавливание, соответственно; 1-6 – себестоимость технологии, надежность и устойчивость конструкции, скорость выполнения работ, опасность перебоев в снабжении, опасность ветреной погоды, работы в стесненных условиях, соответственно

Определим вектора-приоритетов при помощи шкалы Саати необходимой для измерения степени превосходства. В ней используются числовые показатели от 1 до 9 и обратные им величины. Значения шкалы отображают девять степеней превосходства, причём пять значений являются основными (1, 3, 5, 7, 9) и четыре – промежуточными (2, 4, 6, 8). Для оценки относительной важности, например, элементов А и В используются следующие числовые значения:

- Если А и В обладают равной значимостью, в таблицу записывается значение 1.
- В случае, когда А немного важнее, чем В, применяется значение 3.
- Если А существенно превосходит В по значимости, используется значение 5.
- Когда А заметно важнее В, фиксируется значение 7.
- Если А имеет безусловное преимущество перед В, в соответствующей ячейке матрицы указывается значение 9, где строка соответствует элементу А, а столбец – элементу В.

При сравнении одного и того же элемента с самим собой его значимость считается равной, поэтому в матрице попарных сравнений на пересечении строки и столбца для одного и того же элемента (например, в ячейке (А, А)) записывается значение 1. Это правило делает главную диагональ матрицы полностью заполненной единицами.

Для обратных сравнений используются величины, обратные к исходным: например, если значение для пары элементов (А, В) равно 3, то для пары (В, А) указывается $1/3$. Аналогично применяются и другие обратные значения, такие как 1, $1/3$, $1/5$, $1/7$, $1/9$ и их комбинации.

В качестве промежуточных оценок, помимо базовых значений шкалы (1, 3, 5, 7, 9), могут использоваться числа 2, 4, 6, 8 и их обратные величины.

Это позволяет более гибко оценивать случаи, когда различия между элементами не столь очевидны. Для повышения согласованности матрицы в некоторых случаях также применяются дробные (рациональные) числа, что особенно важно при ограниченном количестве сравнений (минимум $n-1$ для n элементов).

Согласованность означает, что все суждения в матрице логически связаны между собой. Например, если элемент A_1 в 3 раза значимее A_2 , а также в 6 раз значимее A_3 , то логически следует, что A_2 должен быть в 2 раза значимее A_3 (так как $3A_2=6A_3$, следовательно, $A_2=2A_3$). Если фактическое значение в ячейке (2, 3) не равно 2, это указывает на несогласованность [7].

Однако наличие некоторой степени несогласованности – это нормальное явление, особенно когда принимаются субъективные решения. Даже если использовать точные численные данные, добиться полностью согласованной матрицы без достаточного количества суждений невозможно.

Для оценки согласованности матриц попарных сравнений используется индекс согласованности (ИС), предложенный Саати и Варгасом, который позволяет выявить логические противоречия в суждениях [8].

Для количественной оценки согласованности используется максимальное собственное значение матрицы (λ_{max}). Абсолютно согласованная матрица должна удовлетворять условию $\lambda_{max}=n$, где n – количество элементов. Степень отклонения от идеальной согласованности определяется индексом согласованности (ИС):

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Чтобы оценить, насколько это отклонение критично, применяется отношение согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{ИСС} \quad (2)$$

где:

- ИС – индекс согласованности, который показывает, насколько сильно фактическая матрица отклоняется от идеально согласованной;
- ИСС – индекс случайной согласованности, зависящий от размера матрицы.

Индекс случайной согласованности (ИСС) – это средний индекс согласованности, рассчитанный для множества случайно сгенерированных обратно-симметричных матриц с элементами, выбранными по шкале от 1 до 9.

В ходе исследований, проведенных в Национальной лаборатории Окриджа, были получены средние значения ИСС для матриц различного порядка. Первоначально было проведено 100 случайных выборок для матриц размером от 1×1 до 15×15 . Эти данные показали закономерность: значение индекса ИСС увеличивается с ростом размера матрицы, что логично, так как с увеличением количества элементов возрастает вероятность появления несогласованных суждений.

Для повышения точности эксперименты были повторены в школе бизнеса Уортона с увеличением выборки до 500 для матриц размером до 11×11 . Для матриц большего размера (12×12 и далее) использовались результаты из первой выборки [7].

Для наглядного представления средних значений индекса случайной согласованности для матриц различного порядка, полученных в ходе указанных исследований, приведены данные в таблице №1. Эта таблица демонстрирует, как значение ИСС изменяется в зависимости от размера матрицы, подтверждая закономерность увеличения уровня случайных несогласованностей с ростом числа сравниваемых элементов.

Таблица №1.

Средние значения индекса случайной согласованности

Порядок матрицы (n)	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
ИСС	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32

8	9	10	11	12	13	14	15
9	10	11	12	13	14	15	16
1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Для более глубокого понимания представленных результатов необходимо отметить, что значения индекса случайной согласованности не просто фиксируют вероятность случайных несогласованностей, но и служат важным ориентиром для оценки допустимого уровня отклонений в реальных матрицах попарных сравнений. Нулевые значения ИСС для матриц размером 1×1 и 2×2 логично объясняются тем, что в таких структурах отсутствует необходимость в сравнении нескольких независимых элементов, что исключает вероятность возникновения противоречий.

Однако с увеличением порядка матрицы возрастает сложность логических взаимосвязей между элементами, что закономерно приводит к росту показателей ИСС. Это связано с тем, что при большом числе альтернатив становится всё сложнее поддерживать полную логическую непротиворечивость суждений. В частности, незначительные флуктуации значений ИСС для матриц размером 11×11 и 12×12 обусловлены статистическими отклонениями, возникающими при изменении размеров выборки, что подтверждает важность тщательной проверки согласованности для крупных матриц.

В связи с этим критерии оценки согласованности (ОС), представленные ниже, основаны на сравнении фактического индекса согласованности с

ожидаемым случайным индексом. Такой подход позволяет не только выявлять потенциальные несоответствия в данных, но и определять степень их допустимости для обоснованного принятия решений.

Критерии оценки согласованности:

- $OC \leq 0.1$ (10%) – высокий уровень согласованности, результаты считаются достоверными;
- $0.1 < OC \leq 0.2$ – допустимый уровень, но рекомендуется пересмотреть наиболее противоречивые суждения;
- $OC > 0.2$ – низкий уровень согласованности, необходимо пересмотреть или скорректировать данные.

Для обеспечения обоснованности процесса принятия решений и повышения точности расчетов важно не только определить приоритеты альтернатив, но и убедиться в согласованности исходных данных. Различные методы вычисления вектора приоритетов позволяют учитывать, как степень согласованности, так и характер распределения значений в матрице попарных сравнений.

Однако наличие даже незначительных несогласованностей может существенно повлиять на результаты анализа. В связи с этим возникает необходимость сравнения методов с точки зрения их устойчивости к таким несоответствиям и способности корректно отражать реальные приоритеты.

Далее будут рассмотрены четыре основных метода вычисления вектора приоритетов, каждый из которых обладает своими особенностями и областью применения. Их анализ позволит определить наиболее эффективный подход для работы с согласованными и несогласованными матрицами, что особенно актуально в задачах, связанных с многокритериальной оценкой альтернатив

Метод 1: суммирование строк и нормализация. Первый способ заключается в суммировании всех элементов каждой строки матрицы. После

этого каждую сумму нормализуют, разделив на общую сумму всех элементов матрицы. Полученный вектор отражает относительные приоритеты объектов: первая компонента соответствует первому объекту, вторая – второму и так далее. Этот метод прост в реализации, но может быть чувствителен к несогласованностям в матрице.

Метод 2: суммирование столбцов с обратной нормализацией. Вторым методом предполагается суммирование элементов по каждому столбцу. Затем для каждого столбца вычисляется обратная величина суммы. Далее эти обратные значения нормализуются таким образом, чтобы их сумма равнялась единице. Этот подход позволяет акцентировать внимание на относительной важности объектов с учетом их влияния в матрице.

Метод 3: нормализация столбцов и усреднение строк. Третий метод начинается с нормализации каждого столбца – делением всех его элементов на сумму значений в этом столбце. После этого суммируются элементы каждой строки, и полученная сумма делится на количество элементов в строке. Этот способ более устойчив к несогласованностям и учитывает влияние каждого критерия на общий приоритет.

Метод 4: Геометрическое среднее и нормализация. Четвёртый метод предполагает нахождение геометрического среднего для каждой строки, что достигается путем перемножения всех элементов строки и извлечения корня n -й степени (где n – количество элементов). Полученные значения нормализуются, чтобы их сумма составляла единицу. Этот способ обеспечивает более точный результат, особенно в условиях несогласованных данных.

Для иллюстрации рассмотрим пример с урной, содержащей шары трёх цветов:

- Б (белые шары) – 3 шт.
 - Ч (чёрные шары) – 2 шт.
-

- К (красные шары) – 1 шт.

Вероятность извлечения шаров будет следующей:

- $P(B) = 1/2$.
- $P(C) = 1/3$.
- $P(K) = 1/6$.

При использовании любой из первых трёх методик для согласованной матрицы попарных сравнений получаем эти вероятности. Метод 4 также приводит к аналогичному результату, демонстрируя его универсальность для различных типов данных.

Таблица №2

Оценка критериев выбора строительной технологии.

Внутренние локальные факторы				Внешние локальные факторы			
	1 ^I	2 ^I	3 ^I		4 ^{II}	5 ^{II}	6 ^{II}
1 ^I	1	1/3	3	4 ^{II}	1	1/2	1/3
2 ^I	3	1	5	5 ^{II}	2	1	1/2
3 ^I	1/3	1/5	1	6 ^{II}	3	2	1
	$\lambda_{max} = 3.04$				$\lambda_{max} = 3.01$		
	$ИС = 0.02$				$ИС = 0$		
	$ОС = 0.03$				$ОС = 0.01$		

В процессе выбора строительной технологии согласно рис. 1 будут применимы критерии внутренних и внешних фактором в отношении 1:1.

В качестве внутренних локальных факторов будет использоваться:

- Себестоимость технологии.
- Надежность и устойчивость конструкции.
- Скорость выполнения работ.

Внешние локальные факторы выражены в следующем:

- Опасность перебоев в снабжении.
- Опасность ветреной погоды.
- Работы в стесненных условиях.

Оценка каждого влияющего на выбор строительной технологии критерия по шкале Саати изложена в таблице №2.

Сравнение внутренних и внешних локальных факторов указано в таблице №3.

Таблица №3

Сравнение внутренних и внешних локальных факторов относительно рассматриваемых альтернативных методов строительной технологии.

Себестоимость технологии	A	B	C	Опасность перебоев в снабжении	A	B	C		
	A	1	2		4	A	1	2	4
	B	1/2	1		3	B	1/2	1	2
	C	1/4	1/3		1	C	1/4	1/2	1
$\lambda_{max} = 3.02$				$\lambda_{max} = 3.00$					
$ИС = 0.01$				$ИС = 0$					
$ОС = 0.02$				$ОС = 0$					
Надежность и устойчивость технологии	A	B	C	Опасность ветреной погоды	A	B	C		
	A	1	1/3		1/4	A	1	1/3	1/4
	B	3	1		2	B	3	1	2
	C	4	1/2		1	C	4	1/2	1
$\lambda_{max} = 3.11$				$\lambda_{max} = 3.11$					
$ИС = 0.05$				$ИС = 0.05$					
$ОС = 0.09$				$ОС = 0.09$					
Скорость выполнения работ	A	B	C	Работы в стесненных условиях	A	B	C		
	A	1	1/2		3	A	1	3	5
	B	2	1		4	B	1/3	1	2
	C	1/3	1/4		1	C	1/5	1/2	1
$\lambda_{max} = 3.02$				$\lambda_{max} = 3.00$					
$ИС = 0.01$				$ИС = 0$					
$ОС = 0.02$				$ОС = 0$					

На рис. 1 веса критериев и веса технологий относительно каждого критерия обозначены вдоль каждого отрезка на рисунке, то общая оценка соответствующей технологии вычисляется по следующим формулам:

$$A = a_1 \cdot i_1 + a_2 \cdot i_2 + a_3 \cdot i_3 + a_4 \cdot i_4 + a_5 \cdot i_5 + a_6 \cdot i_6 \quad (3)$$

$$B = b_1 \cdot i_1 + b_2 \cdot i_2 + b_3 \cdot i_3 + b_4 \cdot i_4 + b_5 \cdot i_5 + b_6 \cdot i_6 \quad (4)$$

$$C = c_1 \cdot i_1 + c_2 \cdot i_2 + c_3 \cdot i_3 + c_4 \cdot i_4 + c_5 \cdot i_5 + c_6 \cdot i_6 \quad (5)$$

Таблица №4

Веса критериев рассматриваемой технологии

Себестоимость технологии	Надежность и устойчивость технологии	Скорость выполнения работ	Опасность перебоев в снабжении	Опасность ветреной погоды	Работы в стесненных условиях
0.56	0.13	0.32	0.57	0.13	0.65
0.32	0.51	0.56	0.29	0.51	0.23
0.12	0.36	0.12	0.14	0.36	0.12

Таблица №5

Веса критериев внешних и внутренних факторов

Внутренние локальные факторы	Внешние локальные факторы
0.26	0.16
0.63	0.30
0.11	0.54

Предыдущие вычисления могут быть представлены в виде следующего матричного произведения:

$$\begin{bmatrix} 0.56 & 0.13 & 0.32 & 0.57 & 0.13 & 0.65 \\ 0.32 & 0.51 & 0.56 & 0.29 & 0.51 & 0.23 \\ 0.12 & 0.36 & 0.12 & 0.14 & 0.36 & 0.12 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.63 \\ 0.11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.16 \\ 0.30 \\ 0.54 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Таким образом, процесс построения матриц попарных сравнений позволяет систематизировать данные и определить относительные приоритеты для каждой технологии. Рассчитанные веса критериев создают

основу для дальнейшего анализа, который включает проверку согласованности и интеграцию результатов для обоснованного выбора оптимальной технологии.

Приоритеты технологий возведения шпунтового ограждения после их нормализации следующие: $A=0.37$; $B=0.39$; $C=0.23$.

В результате проведённого исследования установлено, что метод анализа иерархий является эффективным инструментом для обоснованного выбора технологии возведения шпунтового ограждения. Рассмотрение как внутренних, так и внешних факторов позволило учесть все значимые аспекты, влияющие на эффективность строительного процесса. Методология может быть адаптирована для других видов строительных работ, требующих комплексного многокритериального анализа. Практическая значимость проведённого исследования заключается в возможности использования предложенного подхода для оптимизации процессов выбора технологий в строительных проектах различной сложности. Методология может быть адаптирована для анализа других видов строительных работ, включая проектирование фундаментов, выбор строительных материалов и оценку эффективности технологических процессов. Это позволяет повысить обоснованность управленческих решений и минимизировать риски, связанные с техническими и экономическими факторами. Эти результаты согласуются с выводами Tatar, который отметил универсальность МАИ в задачах, связанных с управлением рисками и цифровой трансформацией [9, 10]. Результаты исследования рекомендованы для использования при планировании и проектировании гидротехнических сооружений и объектов инфраструктуры.

Литература

1. Nurhindarto Aris, Sari Wellia Shinta, Sulistyono MY Teguh, Hendriyanto Novi. A Decision Support System is Developed to Determine the Optimal Criteria for Selecting Exceptional Lecturers Based on Their Lecturer Performance Index. Jurnal Agriment. Volume 5. No. 2. June 2024. Pages 65-72. URL: core.ac.uk/reader/617188430.
2. Мощенко И.Н., Пирогов Е.В. Метод факторного анализа иерархий. Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4736.
3. Гарашко, В. В. Крюкова А. А., Иванчук Е. В. Исследование технологических особенностей применения шпунтового ограждения при строительстве Багаевского гидроузла // Актуальные проблемы науки и техники. 2024: материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Ростов-на-Дону, 19-21 марта 2024 г. / Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д.: ДГТУ, 2024. – С. 1091-1092. URL: ntb.donstu.ru/conference2024.
4. Гарашко, В. В. Технологические особенности шпунтового ограждения строительного оборудования // Молодой исследователь Дона. - 2025. - Т. 10, № 1. - С. 26-30. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/12b/yb43o7s0neu5tsb20ffosrqnewz8fhcc.pdf.
5. Abdellah Bahtat Chaymae El Barkany. Reconfigurable Manufacturing Systems: Enhancing Efficiency via Product Family Optimization. Journal of Manufacturing and Materials Processing. Volume 9. Issue 2. January 2025. Pages 1-23. URL: mdpi.com/2504-4494/9/2/39.
6. Gelgör Eda, Can Sema Poyraz. Decision Making in Bank Personnel Selection Using the Analytical Hierarchy Process. ADBa Information Technology in Economics and Business Cutting-Edge Scientific Solutions. Volume 2. No. 1. 2025. Pages 12-17. URL: journals.adbascientific.com/iteb/article/view/55/31.



7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Радио и связь. 1993. URL: pqm-online.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf.
8. Saaty T. L., Vargas L. G. Inconsistency and rank preservation. Journal of Mathematical Psychology. Volume 28. Issue 2. June 1984. Pages 205-214. URL: [sci-hub.ru/10.1016/0022-2496\(84\)90027-0](http://sci-hub.ru/10.1016/0022-2496(84)90027-0).
9. Tatar V. Evaluation of Barriers to Digital Transformation in Maritime Logistics Based on A Spherical Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Framework. Verimlilik Dergisi, Productivity for Logistics. Volume 59. Issue 1. February 2025. Pages 29-44. URL: dergipark.org.tr/en/download/article-file/4113271.
10. Побегайлов О.А., Погорелов В.А. Модель интеграции строительного производства. Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777.

References

1. Nurhindarto Aris, Sari Wellia Shinta, Sulistyono MY Teguh, Hendriyanto Novi. Jurnal Agriment. Volume 5. No. 2. June 2024. Pages 65-72. URL: core.ac.uk/reader/617188430.
2. Moshhenko I.N., Pirogov E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4736.
3. Garashko, V. V. Kryukova A. A., Ivanchuk E. V. Aktual`ny`e problemy` nauki i texniki. 2024: materialy` Vseros. (nacz.) nauch.-prakt. konf., Rostov-na-Donu, 19-21 marta 2024 g. Don. gos. texn. un-t. Rostov n/D.: DGTU, 2024. – S. 1091-1092. URL: ntb.donstu.ru/conference2024.
4. Garashko, V. V. Molodoj issledovatel` Dona. 2025. T. 10, № 1. pp. 26-30. URL: mid-journal.ru/upload/iblock/12b/yb43o7s0neu5tsb20ffosrqnewz8fhcc.pdf.



5. Abdellah Bahtat Chaymae El Barkany. Journal of Manufacturing and Materials Processing. Volume 9. Issue 2. January 2025. Pages 1-23. URL: mdpi.com/2504-4494/9/2/39.
6. Gelgör Eda, Can Sema Poyraz. ADBa Information Technology in Economics and Business Cutting-Edge Scientific Solutions. Volume 2. No. 1. 2025. Pages 12-17. URL: journals.adbascientific.com/iteb/article/view/55/31.
7. Saaty T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxij. [Decision Making: Analytic Hierarchy Process]. Radio i svyaz. 1993. URL: pqm-online.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf.
8. Saaty T. L., Vargas L. G. Journal of Mathematical Psychology (Volume 28, Issue 2). June 1984. Pages 205-214. URL: [sci-hub.ru/10.1016/0022-2496\(84\)90027-0](https://sci-hub.ru/10.1016/0022-2496(84)90027-0).
9. Tatar V. Verimlilik Dergisi, Productivity for Logistics. Volume 59. Issue 1. February 2025. Pages 29-44. URL: dergipark.org.tr/en/download/article-file/4113271.
10. Pobegajlov O.A., Pogorelov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777.

Дата поступления: 11.03.2025

Дата публикации: 25.04 2025