

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МОНТАЖА КОМПЛЕКСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕННЫХ ОПОР ЛЭП

Е.В. Горохов¹, д.т.н., академик; Д.В. Белов², к.т.н., доцент; Р.И. Игнатенко²

¹ Министерство образования и науки ДНР

² ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Аннотация. Обоснована необходимость разработки системного подхода к оценке и анализу факторов, влияющих на параметры организационно-технологической системы, рассматривается проблема выбора способа монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП как способа минимизации общих затрат на строительные-монтажные работы. Исследуется структура монтажного процесса, рассмотрены схемы и способы монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП. Определены и рассмотрены основные факторы, влияющие на продолжительность и стоимость монтажа.

Ключевые слова: многофакторная система, линия электропередач, башенная опора ЛЭП, метод анализа иерархий, экспертный метод оценки факторов



Горохов
Евгений Васильевич



Белов
Денис Викторович



Игнатенко
Роман Иванович

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Увеличение объемов возведения объектов энергетической отрасли, в частности ЛЭП, и развитие промышленных методов строительства предъявляют повышенные требования к этапу проектирования каждой из составляющих общего строительного процесса.

Возведение конструкций линейно-протяженного строительного объекта, каким является ЛЭП, имеет по сравнению со строительством иных промышленных объектов ряд существенных отличий. Сооружаемые ЛЭП имеют большую протяженность, удалены друг от друга, от производственных баз строительства, дорог и коммуникаций.

При разработке рационального решения организационно-технологического процесса монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП (линии ЛЭП) регулярно присутствует неопределенность, обусловленная множеством факторов, определяющих текущее состояние системы и изменяющихся стохастически.

Рационализация организационно-технологических решений производства строительного-монтажных работ по возведению опор ЛЭП в составе линии преследует цель выбора варианта метода монтажа, при котором с учетом местных условий строительства обеспечивается максимально возможное

сокращение сроков выполнения работ при эффективном использовании материально-технических и людских ресурсов. Суть поиска рационального решения заключается в разделении процесса проектирования и процесса возведения объекта на этапы, а также в анализе организационно-технологических связей между отдельными элементами процесса и сравнении альтернативных вариантов между собой (рис. 1).

Проблема выбора метода монтажа имеет несколько вариантов решений. Эти решения относятся к одной задаче, и в этом смысле они однородны. По отношению друг к другу варианты решений выбора являются альтернативами.

Таким образом, в ситуации принятия решения:

- 1) разрабатываются несколько альтернативных вариантов методов монтажа системы (линии);
- 2) задаются критерии оценки, по которым определяется, в какой мере тот или иной метод является рациональным в данных условиях;
- 3) определяются условия, в которых решается проблема выбора метода, и ряд факторов, существенно влияющих на выбор того или иного варианта метода монтажа.

Линия ЛЭП является сложной системой, и совокупность существенных факторов можно изобразить поликритериальной задачей, представленной в виде ряда различных по своей направленности векторов. Сочетание формально-логических и экспертных (интуитивных) методов анализа позволяет снять эту неопределенность и перейти от векторной формы критерия к одномерной линейной (рис. 2).

Разработка рационального решения организационно-технологического процесса монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП сводится к Задаче Принятия Решения (ЗПР) о выборе рационального метода монтажа из рассматриваемого множества применяемых в данный момент. Оптимальным, с точки зрения качества принимаемого решения и учета факторов влияния, является Метод Анализа Иерархий (МАИ). Данный метод не требует упрощения структуры задачи, априорного отбрасывания ряда факторов. Поэтому он эффективнее других аналитических инструментов позволяет учитывать влияние всевозможных факторов на выбор решения.

Иерархия есть определенный тип системы, основанный на предположении, что элементы системы могут группироваться в несвязанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы.

Структура модели принятия решения в методе анализа иерархий представляет собой схему (граф), которая включает:

- 1) набор альтернативных решений;
- 2) главный критерий определения рейтинга решений;
- 3) набор групп однотипных факторов, влияющих на рейтинг;
- 4) множество направленных связей, указывающих на влияния решений, критериев и факторов друг на друга.

Структура модели отражает результат анализа ситуации принятия решения. Проблему поиска рационального варианта метода монтажа можно рассмотреть следующим образом. Пусть имеются:

- 1) несколько вариантов альтернативных методов монтажа опор;
- 2) главный критерий (главная цель) сравнения альтернативных методов монтажа;
- 3) несколько групп однотипных факторов, внешних и внутренних, существенно влияющих на процедуру выбора.

Необходимо каждой альтернативе поставить в соответствие приоритет (число), получив рейтинг альтернатив. Причем, чем более предпочтительна альтернатива по избранному критерию, тем больше ее приоритет. Выбор рационального метода основывается на величинах приоритетов возможных альтернатив.

Алгоритм выбора метода можно представить следующими пунктами [1]:

1. Анализ проблемы выбора.

При этом проблема выбора метода представляется в виде иерархически упорядоченных:

- а) главной цели;
- б) нескольких уровней однотипных факторов;
- в) группы возможных методов монтажа;
- г) системы связей, указывающих на взаимное влияние факторов и организационно-технологических решений.

2. Сбор данных по факторам и их ранжирование.

В соответствии с результатами иерархической декомпозиции модель ситуации принятия решения имеет кластерную структуру. Набор возможных методов и все существенные факторы, влияющие на приоритеты решений, разбиваются на относительно небольшие группы – кластеры. Разработанная в методе анализа иерархий процедура парных сравнений позволяет определить приоритеты объектов, входящих в каждый кластер.

3. Оценка противоречивости полученных данных и ее минимизация.

- Применение процедуры согласования.

4. Синтез задачи принятия решения.

После окончания проведения анализа проблемы и сбора данных по всем кластерам производится расчет итогового рейтинга – набора приоритетов альтернативных решений.

5. Оценивается важность учета каждого промежуточного решения и важность учета каждого фактора, влияющего на приоритеты выбора метода монтажа.



Рис. 1. Монтаж опоры ЛЭП с помощью падающего шевра

Модель, составленная с помощью МАИ, всегда имеет кластерную структуру (рис. 2,3). Применение метода позволяет разбить большую задачу на ряд малых самостоятельных задач. Благодаря этому для подготовки принятия решения можно привлечь экспертов, работающих независимо друг от друга над локальными задачами.

В соответствии с формулировкой задачи принятия решения величина приоритета напрямую связана с рациональностью выбора. Поэтому решения с низкими приоритетами исключаются как несущественные.

6. Оценка устойчивости принимаемого решения.

Принимаемое решение по выбору метода можно считать обоснованным лишь в том случае, когда неточность исходных данных или неточность разработанной структуры модели ситуации принятия решения не влияют существенно на рейтинг альтернативных решений.

Первым этапом применения МАИ является структурирование проблемы выбора рационального метода монтажа конструкций в виде иерархии или сети [2]. Иерархия технологического процесса

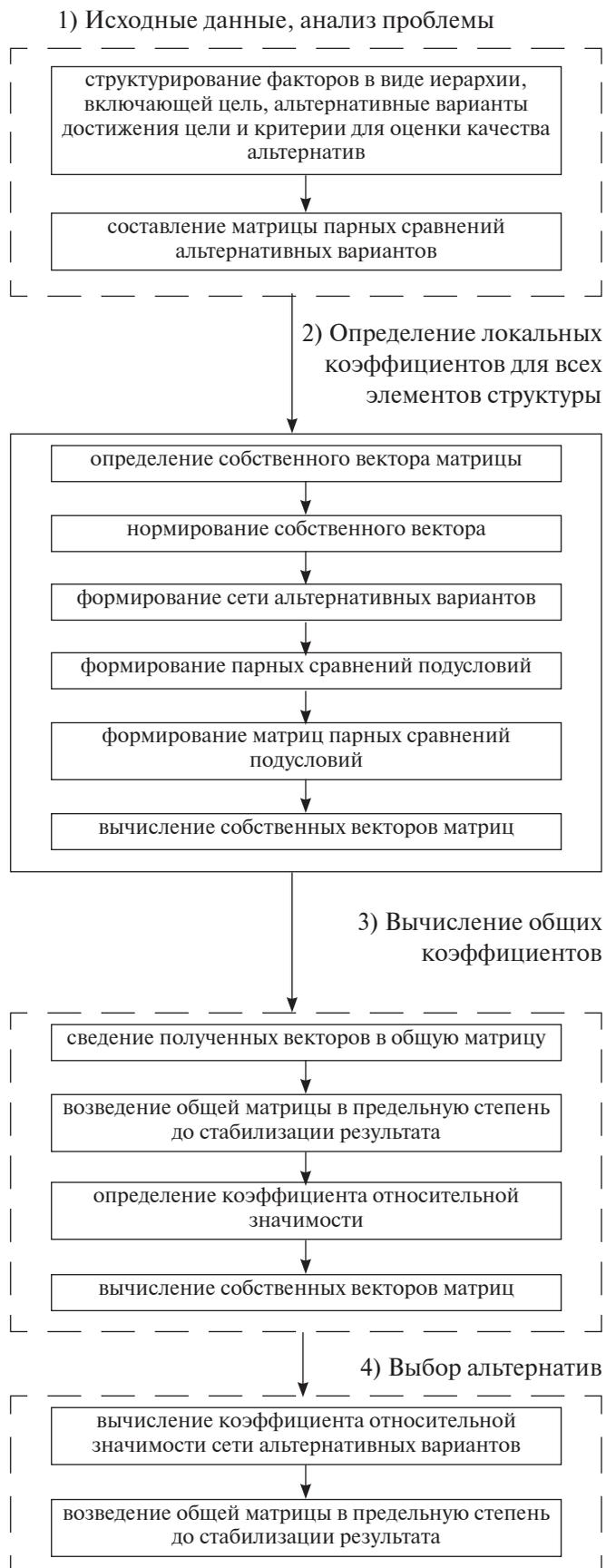


Рис. 2. Алгоритм применения МАИ для выбора способа монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП

строится с вершины (цели), через промежуточные уровни-критерии (технико-экономические параметры) к самому нижнему уровню, которым является ряд альтернативных методов монтажа (рис.4).

Определение факторов, существенно влияющих на процедуру выбора. Для оценки влияния внешних и внутренних факторов, влияющих на выбор метода монтажа опор ЛЭП, предложены следующие показатели [3]:

К_{мт} – показатель механизации труда, определяемый отношением числа рабочих, занятых на механизированных процессах, к общему числу рабочих, является также важным критерием для оценки механизации строительно-монтажных работ. Он выражается отношением трудоемкости механизированных операций к общей трудоемкости работ, где:

К_{мт} – коэффициент механизации труда, %;

T_м – трудоемкость механизированных операций, чел-дн;

T_о – общая трудоемкость, чел-дн.

$$K_{mt} = T_m / T_o \quad (1)$$

K_{оп} – коэффициент, определяющий количество опор линии электропередач, монтируемых сходным способом, и расстояние между ними;

S_{пл} – площадь, необходимая для развертывания комплекта грузоподъемных механизмов, комплектующих элементов конструкции, суммарная площадь пикета, минимально необходимая для выполнения работ по монтажу опоры;

C_м – стоимость монтажа одной опоры ЛЭП;

K_{мп} – коэффициент доступности комплекта техники, используемой при монтаже;

K_{отк} – коэффициент отсутствия отказов;

K_{пр} – коэффициент необходимой квалификации исполнителей.

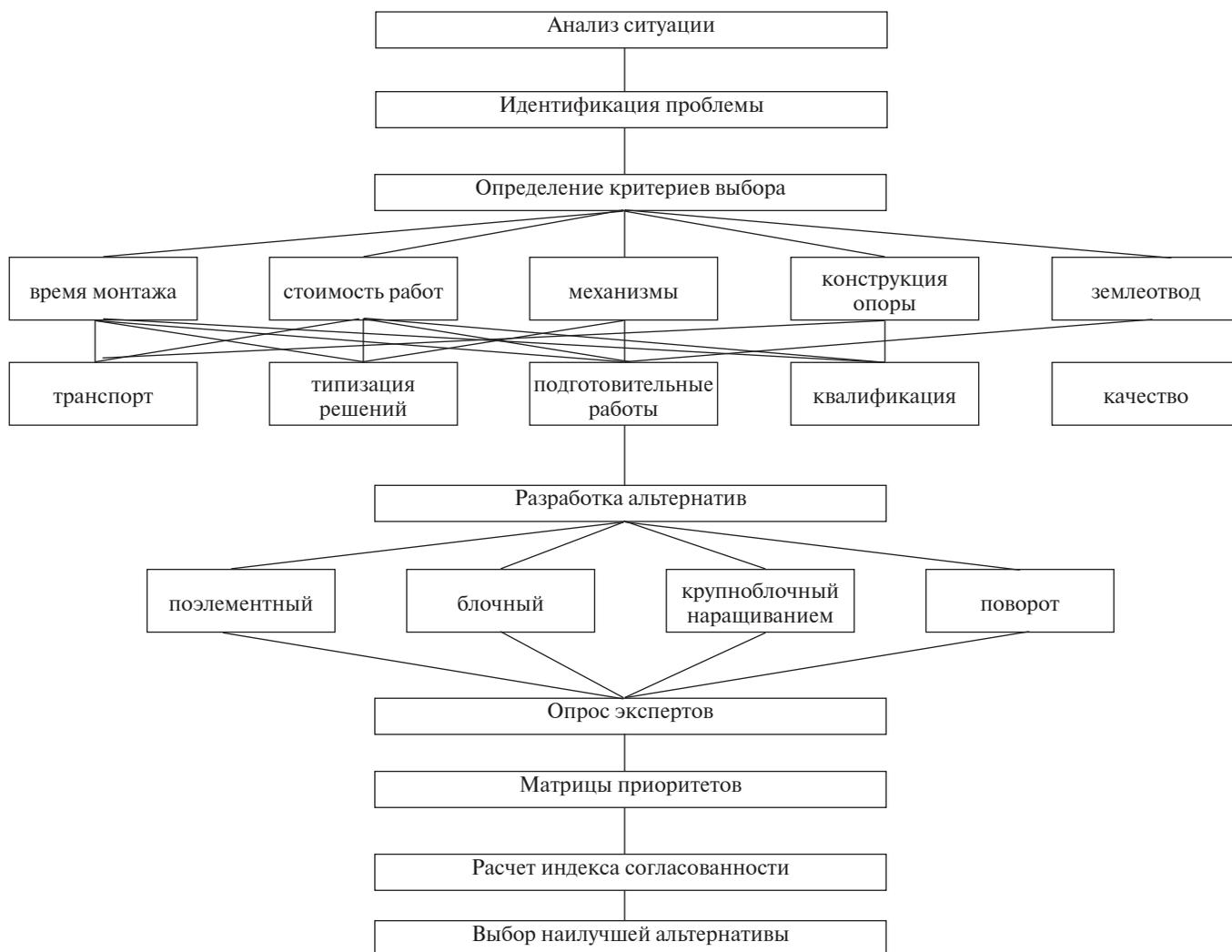


Рис. 3. Структура модели принятия рационального решения организационно-технологического процесса монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП

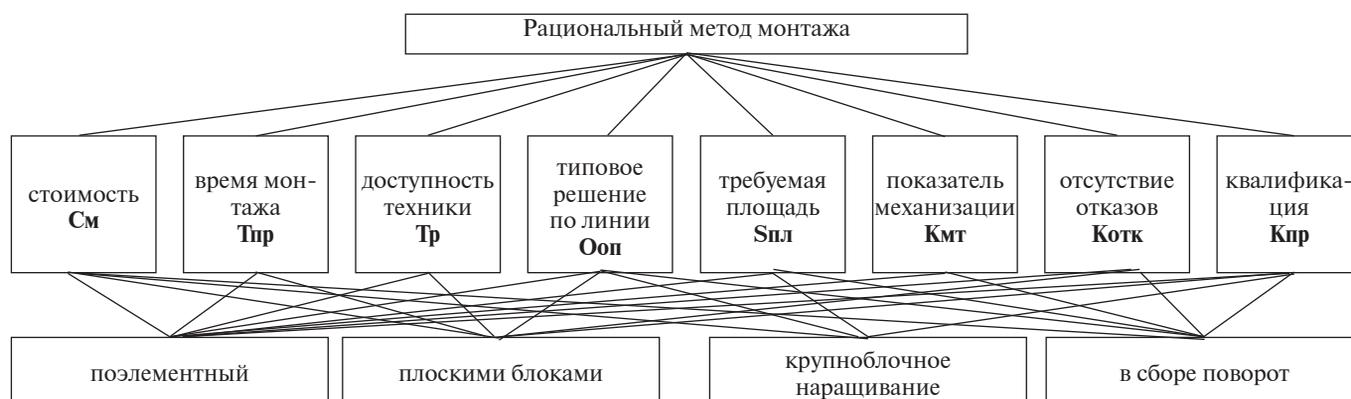


Рис. 4. Иерархическая структура модели проблемы выбора варианта рационального метода монтажа металлических башенных решетчатых опор ЛЭП

Монтаж башенных сооружений отличается от монтажа других строительных конструкций рядом специфических особенностей и, прежде всего, большой высотой, на которой необходимо вести работы. Это предъявляет определенные требования, которыми необходимо руководствоваться при подготовке и комплектовании технических и рабочих кадров, выполняющих работы по монтажу высотных сооружений.

$T_{пр}$ – количество времени, необходимое для монтажа одной опоры линии;

K_u – коэффициент развитости транспортной инфраструктуры, землеотвод, удаленность, стоимость доставки и т. д.

После иерархического воспроизведения проблемы выбора рационального метода монтажа устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям. Элементы сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Система парных сведений приводит к результату, который представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы $w(i, j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, где оценки имеют следующий смысл:

- 1 – равная важность;
- 3 – умеренное превосходство одного над другим;
- 5 – существенное превосходство одного над другим;
- 7 – значительное превосходство одного над другим;
- 9 – очень сильное превосходство одного над другим;
- 2, 4, 6, 8 – соответствующие промежуточные значения.

Учитывая специфику ряда организационно-технологических решений производства строительно-монтажных работ по возведению опор ЛЭП

в составе линии, некоторые способы монтажа в определенных условиях не могут быть применены. Поэтому необходимо включить в состав шкалы интенсивности оценку, исключающую применение метода в определенных условиях.

0 – минимальное значение.

$$W = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Если при сравнении одного фактора i с другим j получено $a(i, j) = b$, то при сравнении второго фактора с первым получаем $a(j, i) = 1/b$.

Относительная сила или величина каждого отдельного объекта в иерархии определяется оценкой соответствующего ему элемента собственного вектора матрицы приоритетов, нормализованного к единице. Процедура определения собственных векторов матриц поддается приближению с помощью вычисления геометрической средней.

Пусть:

$A_1 \dots A_n$ – множество из n элементов;

$W_1 \dots W_n$ – соотносятся следующим образом:

	A1	A2	...	An
A ₁	1	...	...	W_1/W_n
A ₂	...	1	...	...
...	...	...	1	...
A _n	W_n/W_1	...	...	1

Оценка компонент вектора приоритетов производится по схеме:

	A ₁	A ₂	...	A _n		
A ₁	1	...	...	W ₁ /W _n	X ₁ =(1*(W ₁ /W ₂)*...*(W ₁ /W _n)) ^{1/n}	ВЕС (A ₁)=X ₁ /СУММА (X _i)
A ₂	...	1	...	...	X ₂ =(1*(W ₂ /W ₁)*...*(W ₂ /W ₁)) ^{1/n}	ВЕС (A ₂)=X ₂ /СУММА (X _i)
...	...	...	1	...	...	...
A _n	W _n /W ₁	...	...	1	X _n =(W _n /W ₁)*...*(W _n /W _{n-1})*1) ^{1/n}	ВЕС (A _n)=X _n /СУММА (X _i)
					СУММА (X _i)	

Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня вниз. Локальные приоритеты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует элемент.

Индекс согласованности (ИС) дает информацию о степени нарушения согласованности. Вместе с матрицей парных сравнений имеем меру оценки степени отклонения от согласованности. Если такие отклонения превышают установленные пределы, то тому, кто проводит суждения, следует перепроверить их в матрице.

$$ИС = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} \geq n \quad (4)$$

Расчет вектора локальных приоритетов – весов критериев (объектов):

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

$$x_i = \frac{\sqrt[n]{\frac{w_i}{w_1} \times \frac{w_i}{w_2} \times \dots \times \frac{w_i}{w_n}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\frac{w_i}{w_1} \times \frac{w_i}{w_2} \times \dots \times \frac{w_i}{w_n}}} \quad (6)$$

Для контроля согласованности матрицы W вычисляются:

$$Y = \left(\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_1}, \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_2}, \dots, \sum_{j=1}^n \frac{w_j}{w_n} \right) \quad (7)$$

$$\lambda_{\max} = X \times Y \quad (8)$$

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

$$ОС = ИС/ИС_p \quad (10)$$

где: ИС_p – индекс согласованности матрицы размерности n, заполненной при случайном моделировании (табл. 1).

Таблица 1. Согласованность случайных матриц

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Величина ОС должна быть порядка 10 % или менее, чтобы быть приемлемой. В некоторых случаях можно допустить 20 %, но не более. Если ОС выходит из этих пределов, то участникам нужно исследовать задачу и проверить свои суждения.

ВЫВОДЫ

Задачи, которые следует решать с помощью МАИ, могут быть определены следующими пунктами:

1. Доказана возможность применения метода анализа иерархий (МАИ) к решению задач выбора рациональных (оптимальных) методов монтажа конструкций опор ЛЭП (в более широком смысле – линейно-протяженных сооружений).

2. Предложен алгоритм выбора рационального метода возведения конструкций опор ЛЭП с применением МАИ.

3. Дальнейшие исследования предполагают анализ альтернативных вариантов возведения ЛЭП на конкретных примерах.

4. Определен и иерархически структурирован ряд факторов, существенно влияющих на выбор метода монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП.

5. Дополнен метод экспертного оценивания альтернатив, адекватный структуре монтажного процесса.



Список литературы:

1. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
2. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
3. Броверман Г.Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений. – М.: Стройиздат, 1970.
4. Барон Р.М. Методы возведения и реконструкции сооружений пространственного типа // Монтажные и спец. работы в стр.-ве. – 1998. – № 7–8.
5. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1965. – (Нормативный документ Минэнерго СССР).
6. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ». – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
7. Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Назим Я.В., Роменский И.В. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций. – Макеевка, 2012.
8. ДБН В.2.6-163:2009.
9. Нижниковский Г.С., Резниченко П.Т. Технология монтажа металлических конструкций. – Киев–Донецк, 1981.

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ ФИРМА «ПРОМСТРОЙРЕМОНТ»

ВИДЫ РАБОТ:

- обследование, оценка технического состояния и паспортизация зданий и сооружений;
- разработка технических решений по проведению в эксплуатацию пригодность объектов любой сложности;
- проектирование промышленных зданий и сооружений, кровельных и тепло-гидроизоляционных систем (в проектах применяются прогрессивные методы, привлекаются высококвалифицированные научные кадры и специализированные научные организации);
- строительство специальных промышленных зданий и сооружений, изготовление и монтаж металлоконструкций;
- ремонт:
 - металлических и железобетонных конструкций;

- зданий и сооружений;
- грузоподъемных кранов и механизмов;
- тепловых агрегатов, в том числе дымовых труб;
- выполнение кровельных и теплогидро-изоляционных работ;
- огнеупорные и футеровочные работы на предприятиях металлургического и коксохимического производства.

Для осуществления своей деятельности фирма имеет лицензию, выданную Минстром ДНР 22.06.2017 № 003517, и необходимую разрешительную документацию.

КОНТАКТЫ:

ДНР, 83017, г. Донецк, ул. Лазаренко, 63.
Тел/факс +38(062) 297-18-24, 297-84-74,
E-mail: prombudrem@mail.ru