

УДК 69.057.4

Е. В. ГОРОХОВ, А. М. ЮГОВ, Р. И. ИГНАТЕНКО, А. В. КРУПЕНЧЕНКО
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПРИМЕНЕНИЕ МАИ (МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ) ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МОНТАЖА КОМПЛЕКСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕННЫХ ОПОР ЛЭП

В статье 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.

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

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Увеличение объемов возведения объектов энергетической отрасли, в частности ЛЭП, и развитие индустриальных 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, 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 процесса возведения объекта на этапы, а также в анализе организационно-технологических связей между отдельными элементами процесса и сравнении альтернативных вариантов между собой.

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 представить 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.

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 методом является МАИ (метод анализа иерархий). 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 одностипных факторов, влияющих на рейтинг,
- 4) множество направленных связей, указывающих на влияния решений, критерия 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 одностипных 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 (рис. 1):

1. Анализ проблемы выбора.

При этом проблема выбора метода представляется в виде иерархически упорядоченных:

- а) главной цели,
- б) нескольких уровней одностипных 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 соответствие 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.



Рисунок 1 – Алгоритм применения МАИ для выбора способа монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП.

Модель, составленная с помощью МАИ, всегда имеет кластерную структуру. 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 (рис. 2). Иерархия технологического процесса строится с вершины (цели), через промежуточные уровни-критерии (технико-экономические параметры) к самому нижнему уровню, которым является ряд альтернативных методов монтажа.

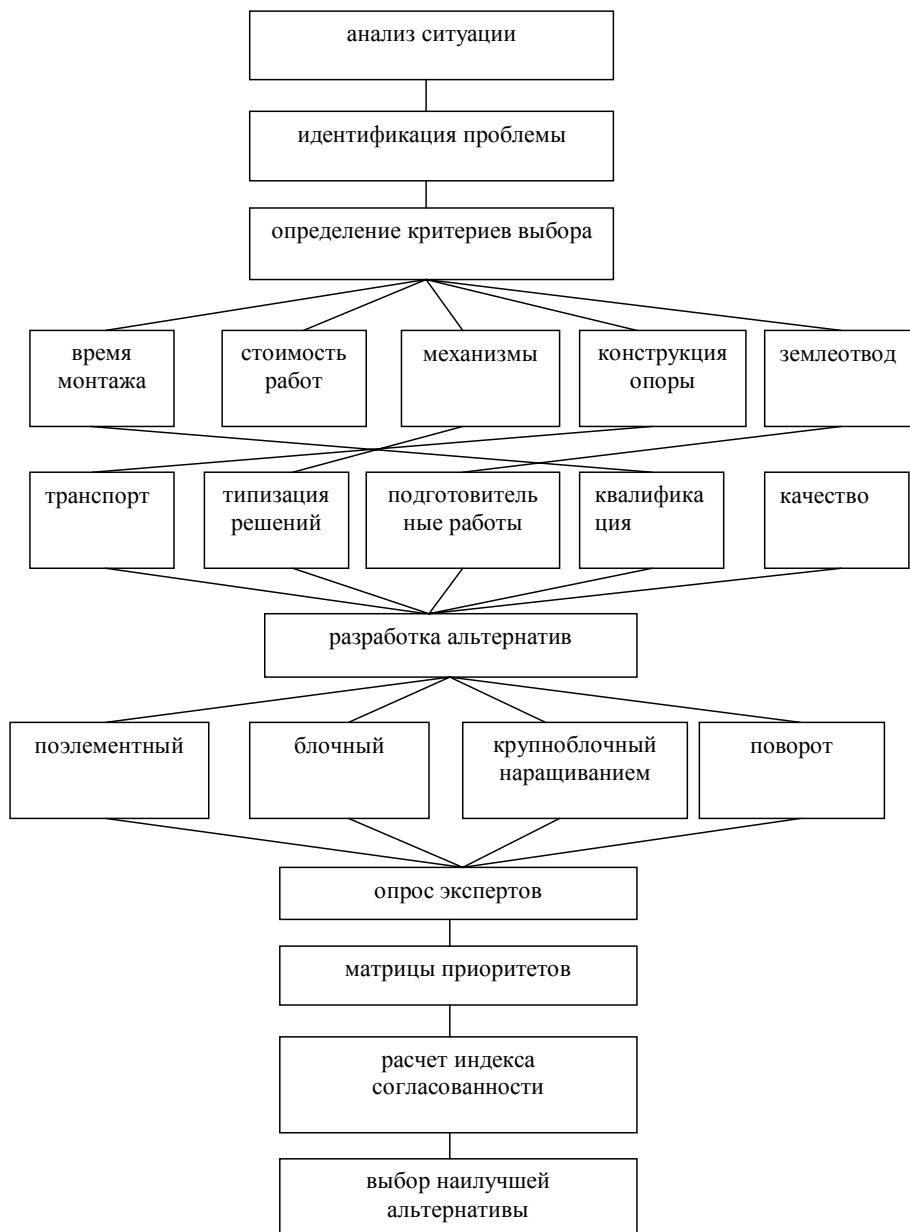


Рисунок 2 – Структура модели принятия рационального решения организационно-технологического процесса монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП.

7. Определение факторов, существенно влияющих на процедуру выбора.

Для оценки влияния внешних и внутренних факторов, влияющих на выбор метода монтажа опор ЛЭП, предложены следующие показатели (рис. 3):

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

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

где K_{mt} – коэффициент механизации труда, %;
 T_m – трудоемкость механизированных операций, чел.-дн;
 T_o – общая трудоемкость, чел.-дн.

Коп – коэффициент, определяющий количество опор линии электропередач, монтируемых сходным способом, и расстояние между ними;

Спл – площадь, необходимая для развешивания комплекта грузоподъемных механизмов, комплектующих элементов конструкции, суммарная площадь пикета, минимально необходимая для выполнения работ по монтажу опоры;

См – стоимость монтажа одной опоры ЛЭП;

Ктр – коэффициент доступности комплекта техники, используемой при монтаже;

Котк – коэффициент отсутствия отказов;

Кпр – коэффициент необходимой квалификации исполнителей.

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.

Тпр – количество времени, необходимое для монтажа одной опоры линии;

Ки – 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 строительного-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

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

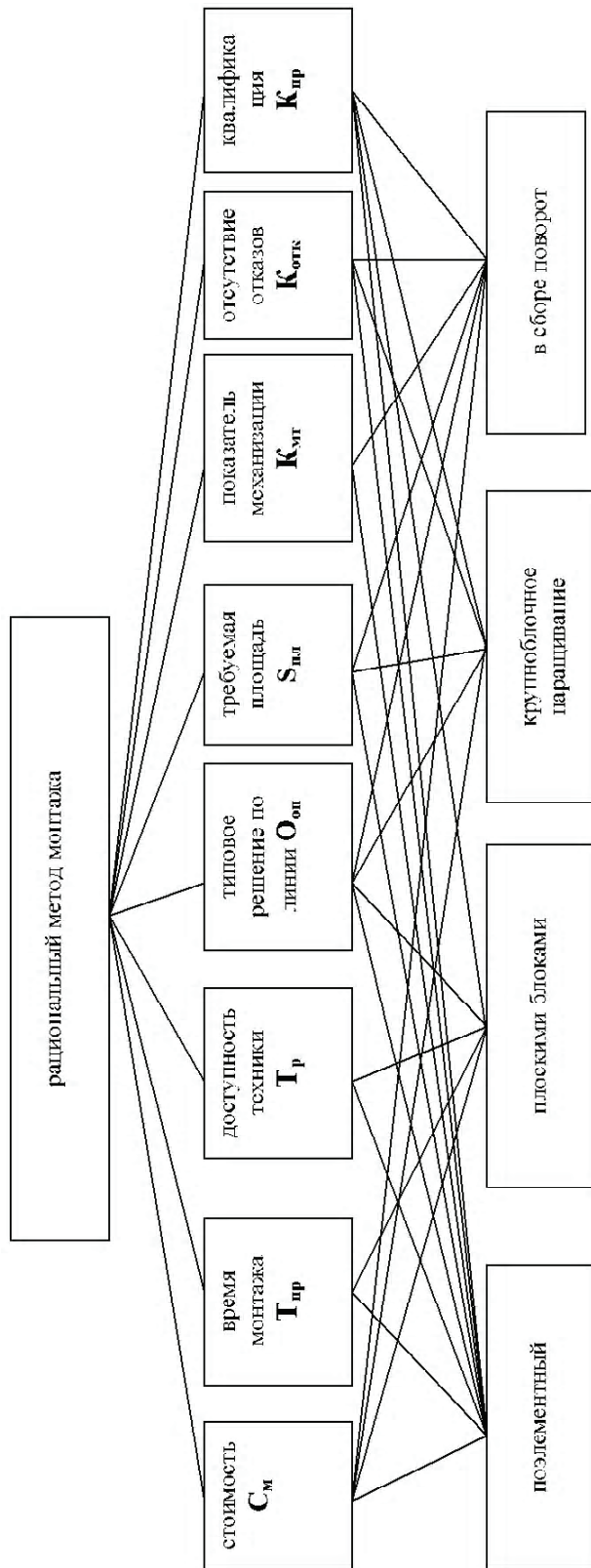


Рисунок 3 – Иерархическая структура модели проблемы выбора варианта рационального метода монтажа металлических башенных решетчатых опор ЛЭП.

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:

	A_1	A_2	...	A_n
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	$X_1 = (1 * (W_1/W_2) * \dots * (W_1/W_n))^{1/n}$	$BEC(A_1) = X_1 / \text{СУММА}(X_i)$
A_2	...	1	...	...	$X_2 = (1 * (W_2/W_1) * \dots * (W_2/W_n))^{1/n}$	$BEC(A_2) = X_2 / \text{СУММА}(X_i)$
...	...	...	1	...	...	...
A_n	W_n / W_1	...	...	1	$X_n = ((W_n/W_1) * \dots * (W_n/W_{n-1}) * 1)^{1/n}$	$BEC(A_n) = X_n / \text{СУММА}(X_i)$
					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.

$$ИС = (l_{max} - n) / (n - 1), \tag{3}$$

$$\lambda_{max} \geq n. \tag{4}$$

Расчет вектора локальных приоритетов – весов критериев (объектов)

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \tag{5}$$

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

Для контроля согласованности матрицы W вычисляются:

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

$$\lambda_{max} = X \cdot Y, \tag{8}$$

$$ИС = (l_{max} - n) / (n - 1), \tag{9}$$

$$ОС = ИС / ИСр, \tag{10}$$

где $ИСр$ – индекс согласованности матрицы размерности n , заполненной при случайном моделировании (табл.).

Таблица – 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 [Текст] / Т. Л. Саати. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.
2. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.
3. Броверман, Г. Б. Строительство мачтовых и башенных сооружений [Текст] / Г. Б. Броверман. – М. : Стройиздат, 1970. – 272 с.
4. Барон, Р. М. Методы возведения и реконструкции сооружений пространственного типа [Текст] / Р. М. Барон // Монтажные и спец. работы в стр-ве. – 1998. – № 7–8. – С. 23–28.
5. Правила устройства электроустановок [Текст] / Минэнерго СССР. – 4-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1965. – 464 с. – (Нормативный документ Минэнерго СССР).
6. Правила улаштування електроустановок [Текст]. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» / М-во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
7. Расчет и проектирование пространственных металлических конструкций [Текст] : учеб. пособие для студентов строит. профиля, магистрантов, аспирантов, а также послевуз. подгот. и переподгот. / Е. В. Горохов, В. Ф. Муцанов, Я. В. Назим, И. В. Роменский ; под общ. ред. Е. В. Горохова ; Донбас. нац. акад. стр-ва и архитектуры. – Макеевка : ДонНАСА, 2012. – 560 с. – ISBN 978-617-599-012-4.
8. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*-19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3-8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78-4.134 ; чинні від 2011-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
9. Нижниковский, Г. С. Технология монтажа металлических конструкций [Текст] : учебник / Г. С. Нижниковский, П. Т. Резниченко ; ред. Б. В. Прыкин. – Киев ; Донецк : Вища шк., 1981. – 236 с.

Получено 05.10.2015

Є. В. ГОРОХОВ, А. М. ЮГОВ, Р. І. ІГНАТЕНКО, А. В. КРУПЕНЧЕНКО
ЗАСТОСУВАННЯ МАІ (МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ) ПРИ РОЗРОБЦІ
РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ МОНТАЖУ КОМПЛЕКСУ МЕТАЛЕВИХ ГРАТЧАСТИХ
БАШТОВИХ ОПОР ЛЕП

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті обґрунтовано необхідність розробки системного підходу до оцінки та аналізу чинників, що впливають на параметри організаційно-технологічної системи, розглядається проблема вибору способу монтажу комплексу металевих ґратчастих баштових опор ЛЕП, як способу мінімізації загальних витрат на будівельно-монтажні роботи. Досліджується структура монтажного процесу, розглянуті схеми та способи монтажу комплексу металевих ґратчастих баштових опор ЛЕП. Визначено та розглянуто основні фактори, що впливають на тривалість і вартість монтажу.

багатофакторна система, лінія електропередавання, баштова опора ЛЕП, метод аналізу ієрархій, експертний метод оцінки факторів

YEVGEN GOROKHOV, ANATOLIY YUGOV, ROMAN IGNATENKO, ANNA
KRUPENCHENKO
THE APPLICATION OF AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) IN THE
DEVELOPMENT OF A RATIONAL VARIANT OF ORGANIZATIONAL AND
TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLY OF COMPLEX METAL LATTICE
TOWERS OF TRANSMISSION LINES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In the article the necessity of systematic approach developing to the evaluation and analysis of factors having impact on characteristic quantity of organizational and manufacturing system have been motivated, the article also deals with the problem of choice of method of installation of the metal complex lattice towers of transmission lines as a means of minimizing total cost of construction and installation works. We study the structure and Assembly process, the schemes and methods of mounting of the complex of metal, lattice, power transmission line tower supports have been considered. The main factors, having an impact on the duration and cost of installation, have been determined and considered.

multi-factor system, power transmission line, transmission line tower support, analytic hierarchy process, expert method of factors valuation

Горохов Євген Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих конструкцій, ректор Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, академік Академії Вищої освіти та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

Югов Анатолій Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури, дійсний член Академії будівництва України. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, оцінка технічного стану і реконструкція будівель і споруд з металевих конструкцій.

Ігнатенко Роман Іванович – асистент кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: монтаж металевих конструкцій.

Крупенченко Ганна Вікторівна – асистент кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: монтаж металевих конструкцій, реконструкція промислових і цивільних споруд.

Горохов Евгений Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностранный член Российской Академии строительства, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Югов Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, действительный член Академии строительства Украины. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, оценка технического состояния и реконструкция зданий и сооружений из металлических конструкций.

Игнатенко Роман Иванович – ассистент кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: монтаж металлических конструкций.

Крупенченко Анна Викторовна – ассистент кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: монтаж металлических конструкций, реконструкция промышленных и гражданских зданий.

Gorokhov Yevgen – D.Sc. (Eng), Professor; the Head of Metal Structures Department, Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. President of the Ukrainian Association of Metal Structures, a foreign member of the Russian Academy of Civil Engineering, an academician of the Higher School Academy and the Academy of Civil Engineering of Ukraine. A member of the International Committee on studying of wind influence on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

Yugov Anatoliy – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Full Member of Academy of Construction of Ukraine. Scientific interests: design, erection, operation, evaluation of technical condition and reconstruction of metal structures.

Ignatenko Roman –assistant, Construction Technology and Management Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: steel erection.

Krupenchenko Anna – assistant, Construction Technology and Management Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: steel erection, reconstruction of industrial and civil buildings.