

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ДВУХУРОВНЕВЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЛУЧШЕЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ В РАМКАХ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПРОБЛЕМЫ

В. А. Шакиров, П. С. Панкратьев

Братский государственный университет

Поступила в редакцию 04.06.2013 г.

Аннотация. Формулируется двухэтапная задача многокритериального выбора в рамках слабоструктурированной проблемы. Предложен двухуровневый подход на основе методов теории полезности и анализа иерархий для решения задачи в такой постановке. Приведен пример двухуровневого анализа пунктов строительства гидроэлектростанции.

Ключевые слова: слабоструктурированная проблема, многокритериальный двухуровневый подход, метод анализа иерархий, многокритериальная теория полезности, размещение энергетических объектов.

Annotation. Two level object of multi-criteria choice within the framework of semistructured problem is formulated. Two level approach based on multi-attribute utility theory and analytic hierarchy process for solving the problem in such a setting is provided. An example of two level analysis of hydro power plant sites is considered.

Keywords: semistructured problem, multi-criteria two level approach, analytic hierarchy process, multi-attribute utility theory, siting energy facilities.

ВВЕДЕНИЕ

Принятие решений по развитию в районе транспортной, энергетической, промышленной инфраструктуры является сложной комплексной проблемой, имеющей ряд особенностей. Во-первых, такие проблемы относятся к слабоструктурированным. Анализ осуществляется в условиях неполной информации, многочисленных критериев оценки. По ряду критериев получение точной количественной оценки нецелесообразно в силу ограниченности финансовых и временных ресурсов, поэтому используют качественные оценки, полученные от экспертов. Зачастую такие задачи уникальны, что требует индивидуального подхода к формализации проблемы и применению методов системного анализа. Во-вторых, решения по указанной проблеме имеют долговременные социальные, экологические, экономические последствия, что требует тщательного анализа. В-третьих, принятию решений свойственна многоэтапность. Например, при развитии промышленной инфраструктуры, на первом этапе намечаются перспективные пункты строительства объекта, на втором этапе уточняется производственная мощность объекта, конкретная площадь

ка его размещения. При проектировании железной дороги, на первом этапе сравниваются варианты направлений, на втором – варианты трасс. Из-за большой размерности задачи, описанных выше сложностей, присущих слабоструктурированным проблемам, как правило, каждый этап рассматривается отдельно. В результате выбранный на первом этапе вариант решения может иметь набор крайне неэффективных альтернатив на втором этапе. Это вызывает необходимость повторного анализа, потери финансовых и временных ресурсов. В статье предлагается двухуровневый подход, в котором при анализе эффективности решений на первом этапе учитывается качество возможных последующих решений.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При анализе решений можно выделить два уровня альтернатив. Первый уровень составляют сами решения, второй уровень – возможные варианты последующих решений. В качестве примера будем рассматривать задачу выбора пункта строительства гидроэлектростанции (ГЭС). Альтернативами первого уровня (АПУ) являются пункты строительства ГЭС. Каждый намеченный пункт обладает определенными геологическими, гидрологическими и другими

влияющими характеристиками. Поэтому, в зависимости от нормального подпорного уровня водохранилища (НПУ) ГЭС, каждому пункту соответствует диапазон возможных мощностей станции, площадей затопляемых земель, капитальных вложений в строительство. Альтернативами второго уровня (АВУ) будут являться варианты станции. Предлагаемая иерархия целей и критериев представлена на рис. 1.

Каждой АПУ соответствует несколько АВУ. Критерии оценки АВУ являются также критериями оценки АПУ. В рассматриваемом примере для оценки пунктов строительства (АПУ) предложено семь критериев К1-К7, для оценки вариантов станции (АВУ) предложено три критерия К1, К2, К3.

Задачу сформулируем следующим образом. Пусть $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ множество альтернатив первого уровня, которые оцениваются по множеству критериев $F = F_1 \cup G$, $F_1 = \{f_1, f_2, \dots, f_s\}$, $G = \{g_1, \dots, g_p\}$. Каждому элементу множества A в соответствие ставится множество $B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}\}$, $i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ альтернатив второго уровня. Альтернативы множеств B_i оцениваются только по множеству критериев $G = \{g_1, \dots,$

$g_p\}$, $G \subset F$. Необходимо упорядочить альтернативы множества A по предпочтению с учетом многокритериальных оценок альтернатив множеств B_i .

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЕЗНОСТИ

Все методы многокритериального анализа имеют определенную эффективную область применения. Рассмотрим особенности выбора эффективных альтернатив на двух уровнях и предложим методы для анализа.

Каждый этап принятия решений конкретизирует условия задачи для последующих решений, информация по проблеме становится все более полной и детальной, качественные показатели постепенно заменяются количественными. Поэтому альтернативы второго уровня, как правило, характеризуются критериями, по которым может быть дана количественная оценка. Немногочисленные критерии с качественным описанием могут быть переведены в количественные с помощью искусственной шкалы, за-

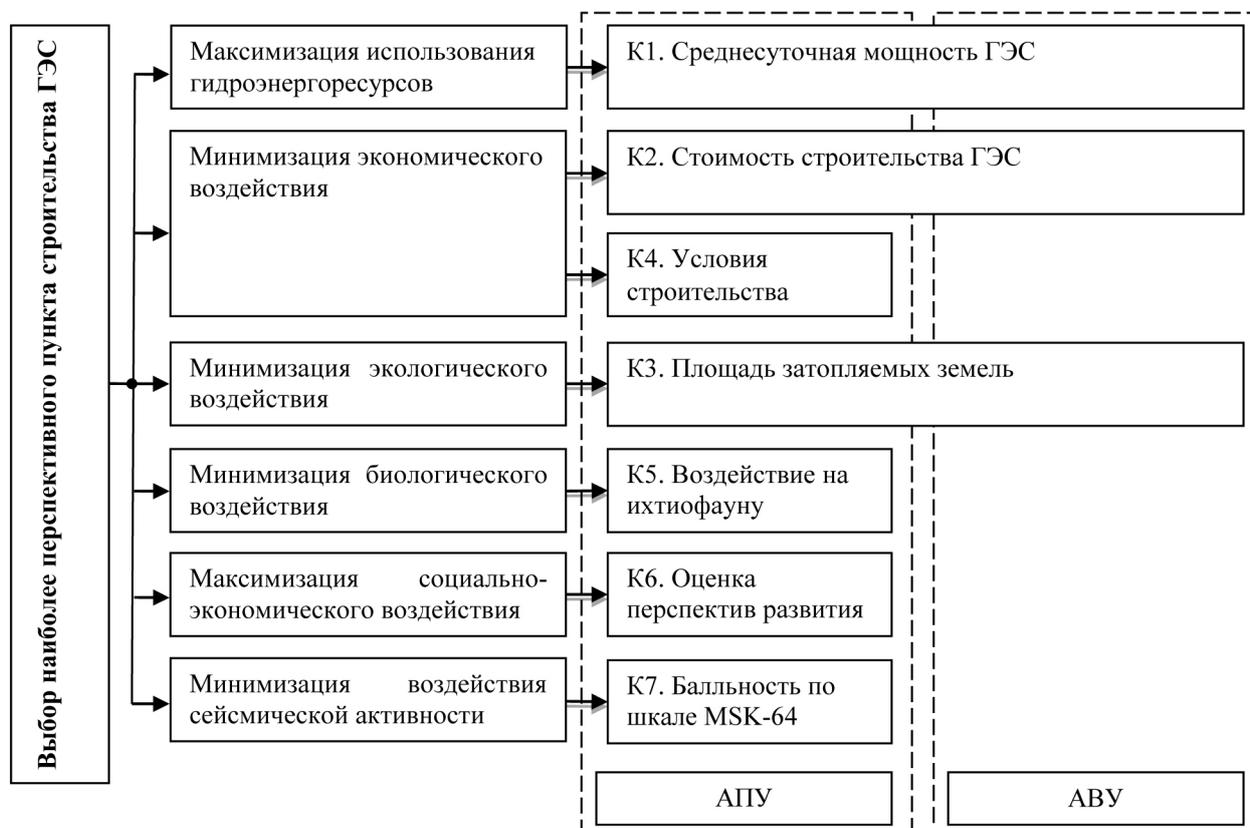


Рис. 1. Иерархия целей и критериев при выборе пункта строительства ГЭС

дающей числовые значения каждой качественной оценке. Количество альтернатив второго уровня потенциально не ограничено. Соответственно необходим метод, позволяющий проводить многокритериальную оценку в условиях большого количества альтернатив по критериям с количественным описанием. Этим требованиям отвечает метод многокритериальной теории полезности MAUT (Multi-Attribute Utility Theory). Данный метод широко применялся на практике [4]. Методы, основанные на парных сравнениях, такие как метод анализа иерархий (МАИ) [2, 3], ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la REalite) [3], позволяют проводить анализ альтернатив с количественными и качественными оценками. Но, учитывая большое количество альтернатив второго уровня, они не могут эффективно применяться для анализа, так как потребуют большого количества запросов к ЛПР, возникнет проблема согласованности ответов.

Альтернативы первого уровня также могут характеризоваться количественными критериями, но в большей степени для описания альтернатив привлекаются критерии, по которым может быть дано только качественное описание. Количество альтернатив первого уровня, как правило, не превышает 7–10. Для описанных условий эффективен метод анализа иерархий (МАИ). МАИ также применялся при решении важных практических задач [2]. Методы вербального анализа будут малоэффективны. Например, группа методов ЗАПРОС (Замкнутые Процедуры у Опорных Ситуаций) [3] эффективна, когда оценки по критериям имеют качественное описание с небольшим (3–4) числом градаций оценок, а среди альтернатив первого уровня есть критерии с количественным описанием. Метод вербального анализа ШНУР (Шкала Нормализованных Упорядоченных Различий) позволяет проводить сравнение альтернатив по качественным и количественным критериям. Однако в основу метода положены следующие допущения: 1. ЛПР может сравнивать по предпочтительности две альтернативы, отличающиеся оценками только по двум критериям; 2. ЛПР может сравнивать по предпочтительности две альтернативы, отличающиеся более, чем по двум критериям, если при этом одна альтернатива предпочтительнее другой по одному критерию и уступает ей не более чем по трем критериям [3]. Учитывая эти ограничивающие

допущения, а также простоту вопросов при использовании метода анализа иерархий, последнему было отдано предпочтение.

МЕТОДИКА ДВУХУРОВНЕВОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Двухуровневый многокритериальный анализ проводится в следующем порядке. Оцениваются альтернативы второго уровня каждого множества B_i по критериям g_1, \dots, g_p с применением метода MAUT. Целью оценки является определение лучшей альтернативы второго уровня для каждой альтернативы первого уровня. Затем проводится сравнение альтернатив первого уровня по всем критериям f_1, \dots, f_s и g_1, \dots, g_p методом МАИ. В качестве оценок по критериям g_1, \dots, g_p принимаются параметры выбранных лучших альтернатив второго уровня. Этапы предлагаемой методики представлены на рис. 2.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ДВУХУРОВНЕВОГО АНАЛИЗА К ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА ПУНКТА СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Рассмотрим предлагаемый двухуровневый подход к многокритериальному выбору на примере сравнения пунктов строительства ГЭС на участке реки Индигирки, протекающей на севере республики Саха (Якутия). Ситуационный план района представлен на рис. 3.

В соответствии с методикой (рис. 2) на первом этапе формируются альтернативы первого уровня. В исследовании для сравнения выбраны пункты Тосканской ГЭС (П2) и Большегорской ГЭС (П5) [4], а также три дополнительных пункта (П1, П3, П4) в связи со следующими перспективами.

Пункт П1 намечен вблизи поселка Хонуу. Перспективу поселка определяет стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р, в соответствии с которой запланировано строительство стратегической железнодорожной линии Якутск – Мома – Магадан. От поселка Хонуу Индигирка судоходна, поэтому в перспективе поселок может стать крупным транспортным узлом.

Пункт П4 намечен вблизи поселка городского типа Усть-Нера, расположенного вблизи

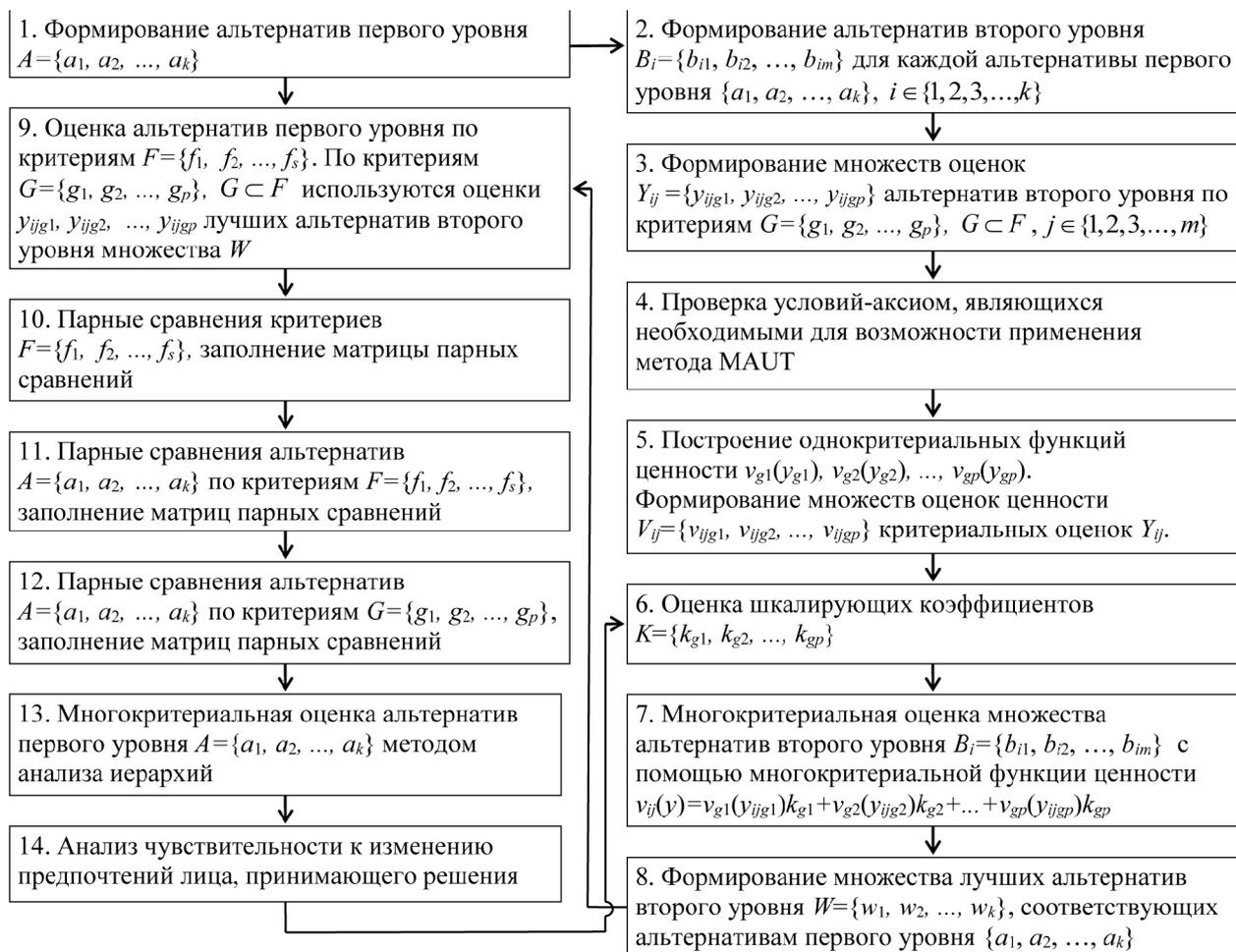


Рис. 2. Методика многокритериального двухуровневого анализа



Рис. 3. Ситуационный план района

богатейших месторождений золота, сурьмы, вольфрама. Через поселок проходит федеральная автомобильная дорога М56 «Колыма», связывающая Якутск и Магадан.

Пункт ПЗ намечен рядом с поселком городского типа Предпорожный, упраздненным в 2007 г. Вблизи находятся месторождения золота, угля. Расположение между поселками Хонуу и Усть-Нера позволяет влиять на развитие двух районов.

Для каждого пункта формируется множество альтернатив второго уровня (этап 2). Для этого проводится сбор информации о гидрологических, геологических условиях, выполняются водноэнергетические расчеты, определяются возможные диапазоны нормального подпорного уровня водохранилища в каждом пункте. На этапе 3 оцениваются альтернативы второго уровня по критериям (рис. 1). Результаты приведены в таблице 1.

На четвертом этапе проводится проверка условий-аксиом, необходимых для возможности применения метода МАУТ. При выполнении условий-аксиом дается математическое доказательство существования скалярной функции полезности $u(y)$, которая ставит в соответствие каждой альтернативе число, отражающее ее

полезность [5]. При выполнении условий взаимной независимости критериев по полезности, может быть получена многокритериальная функция полезности в аддитивном (1) или мультипликативном виде (2) [5]:

$$u(y) = u(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(y_i), \quad (1)$$

$$ku(y) + 1 = ku(y_1, y_2, \dots, y_n) + 1 = \prod_{i=1}^n [kk_i u_i(y_i) + 1]. \quad (2)$$

где $u_i(y_i)$ – однокритериальная функция полезности; y_i – оценка альтернативы по критерию i ; k_i – шкалирующий коэффициент критерия i ; k – шкалирующий коэффициент.

Построение функции полезности (1) или (2) проводится, если выбор лучшей альтернативы второго уровня осуществляется в условиях риска. Если рассматривается выбор в условиях определенности, функцию полезности $u(y)$ называют функцией ценности $v(y)$ [5, 6]. Выполнение условия взаимной независимости критериев по предпочтению позволяет получить многокритериальную функцию ценности (МФЦ) в аддитивном виде:

$$v(y) = v(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(y_i), \quad (3)$$

Таблица 1

Оценки альтернатив второго уровня по критериям $K1, K2, K3$

Пункт (АПУ)	АВУ	НПУ, м	Среднесуточная гарантированная мощность, МВт	Стоимость строительства, млн. руб.	Площадь затопления, км ²	$v(y_1, y_2, y_3)$
П1 (АПУ 1)	АВУ 11	30	3,601	324,090	21,320	0,608
	АВУ 12	40	11,771	1059,390	30,920	0,644
	АВУ 13	50	24,843	2235,870	44,390	0,677
	АВУ 14	60	40,265	3623,850	61,730	0,689
П2 (АПУ 2)	АВУ 21	30	1,594	143,460	6,760	0,597
	АВУ 22	40	10,912	982,080	41,650	0,636
	АВУ 23	50	28,803	2592,270	73,000	0,679
П3 (АПУ 3)	АВУ 31	30	8,887	799,830	50,000	0,630
	АВУ 32	40	24,089	2168,010	79,400	0,670
П4 (АПУ 4)	АВУ 41	20	4,594	413,460	51,120	0,610
	АВУ 42	30	17,644	1587,960	82,760	0,656
	АВУ 43	40	38,136	3432,240	115,110	0,678
	АВУ 44	50	74,860	6737,400	201,210	0,619
	АВУ 45	60	129,735	11676,150	269,860	0,403
П5 (АПУ 5)	АВУ 51	20	4,712	424,080	50,800	0,610
	АВУ 52	30	16,241	1461,690	109,450	0,646
	АВУ 53	40	41,935	3774,150	193,550	0,651

где $v_i(y_i)$ – однокритериальная функция ценности.

Будем считать в рассматриваемом примере, что анализ альтернатив на втором уровне проводится в условиях определенности.

На пятом этапе с помощью ЛПР проводится построение однокритериальных функций ценности в соответствии со стандартными процедурами [1, 5]. Однокритериальные функции отражают ценность v для ЛПР каждой оценки y_g по критерию g . Ценность критериальных оценок изменяется от 0 до 1. Пример однокритериальной функции ценности критерия «Площадь затопляемых земель» представлен на рис. 4.

На шестом этапе проводится определение шкалирующих коэффициентов в соответствии с процедурами, изложенными в [1, 5].

На седьмом этапе проводится построение МФЦ (3), которая каждой альтернативе второго уровня ставит в соответствие оценку от 0 до 1. В рассматриваемом примере получена МФЦ:

$$v(y_1, y_2, y_3) = 0,403 \cdot v_1(y_1) + 0,481 \cdot v_2(y_2) + 0,116 \cdot v_3(y_3).$$

С помощью МФЦ могут быть ранжированы все варианты ГЭС для каждого пункта. Результаты расчета представлены в таблице 1.

На восьмом этапе для каждой АПУ выбирается лучшая АБУ. В таблице 1 сделанный выбор отмечен жирным шрифтом. Например, с помощью МФЦ для АПУ 1 выбрана АБУ 14 (вариант ГЭС с НПУ 60 м).

Далее начинается анализ альтернатив первого уровня. На этапе 9 проводится описание

последствий по каждому из критериев f_1, \dots, f_s для альтернатив первого уровня (см. рис. 1). По критериям, которые привлекались для анализа альтернатив второго уровня g_1, \dots, g_p , оценки уже получены на этапе 3.

На этапе 10, в соответствии с методом анализа иерархий [2], ЛПР проводит попарные сравнения всех критериев с помощью шкалы относительной важности (таблица 2), формируя матрицы парных сравнений. Затем попарно сравниваются альтернативы отдельно по каждому критерию.

Матрица парных сравнений критериев представлена в таблице 3.

Веса критериев или альтернатив по матрицам парных сравнений могут быть получены после определения собственных векторов матриц и нормирования элементов собственных векторов.

Определение собственного вектора матрицы $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ может быть проведено по известному выражению [2]:

$$\lambda_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n c_{ij}}, \quad (4)$$

где λ_i – элемент собственного вектора матрицы, соответствующий альтернативе или критерию i ; c_{ij} – оценка шкалы парных сравнений альтернатив или критериев i и j ; n – количество альтернатив или критериев.

Для получения веса w_i критерия i проводится нормирование элементов собственного вектора по выражению:

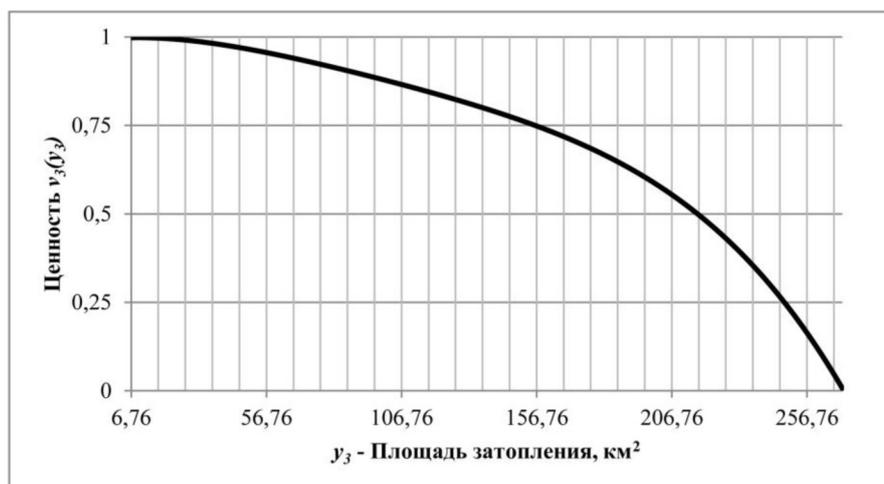


Рис. 4. Однокритериальная функция ценности критерия y_3 – площадь затопляемых земель $v_3(y_3)$

Таблица 2

Относительная шкала сравнения

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Значительное превосходство	5
Явное превосходство	7
Абсолютное превосходство	9

Таблица 3

Матрица парных сравнений критериев

Критерий	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Вес
K1	1	0,500	3	0,500	5	0,500	5	0,140
K2	2	1	5	1	7	1	7	0,247
K3	0,333	0,200	1	0,200	3	0,200	3	0,060
K4	2	1	5	1	7	1	7	0,247
K5	0,200	0,143	0,333	0,143	1	0,143	1	0,030
K6	2	1	5	1	7	1	7	0,247
K7	0,200	0,143	0,333	0,143	1	0,143	1	0,030

Таблица 4

Матрица парных сравнений альтернатив по критерию K4 – «Условия строительства»

Пункт	П1	П2	П3	П4	П5
П1 (АПУ 1)	1	7	6	0,500	3
П2 (АПУ 2)	0,143	1	0,500	0,125	0,200
П3 (АПУ 3)	0,167	2	1	0,143	0,250
П4 (АПУ 4)	2	8	7	1	4
П5 (АПУ 5)	0,333	5	4	0,250	1

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}. \quad (5)$$

По аналогичному (5) выражению, после определения элементов собственного вектора матрицы парных сравнений, может быть получен вес v_{ij} альтернативы j по критерию i .

На этапах 11, 12 проводится парное сравнение альтернатив отдельно по каждому критерию. В качестве примера, рассмотрим критерий K4 «Условия строительства». По этому критерию оценка уже не может быть легко выражена количественно, поэтому на основании анализа данных (расстояния до дорог, населенных пунктов и т.п.) ЛПР высказывает предпочтения, заполняя матрицу парных сравнений (таблица 4).

Аналогично заполняются матрицы парных сравнений альтернатив по остальным критериям множества F_j .

Проведем краткое описание оставшихся критериев этого множества. В предварительном рассмотрении влияние на ихтиофауну от строительства ГЭС (критерий K5) оценивалось расстоянием от устья реки. Чем выше по течению пункт строительства ГЭС, тем меньше притоков исключается из возможного хода рыб. По критерию K6 «Оценка перспектив развития района» при сравнении учитывалось положение по отношению к месторождениям, населенным пунктам, возможной трассе железной дороги. При сравнении по критерию K7 «Балльность по шкале MSK-64» использовались карты ОСР-97-С, предназначенные для проектирования и строительства особо ответственных сооружений [7].

Далее проводятся парные сравнения альтернатив первого уровня по критериям множества G – K1, K2, K3. Эти критерии уже использовались для выбора лучшей альтернативы второго

уровня. При парных сравнениях пунктов будут использоваться оценки лучших вариантов ГЭС. Так, при сравнении АПУ1 и АПУ2 по критерию К1 «Среднесуточная мощность ГЭС» будут сравниваться оценки АБУ 14 и АБУ 23, т.е. 40,265 МВт и 28,803 МВт. В соответствующую ячейку матрицы записывается оценка 7 – «явное превосходство» (таблица 5).

Результаты расчета весов альтернатив по критериям представлены в таблице 6.

На этапе 13 оценка альтернатив первого уровня проводится с учетом всех критериев по выражению:

$$V_j = \sum_{i=1}^n w_i v_{ij}, \quad (6)$$

где V_j – показатель качества j -й альтернативы первого уровня; w_i – вес i -го критерия; v_{ij} – вес j -й альтернативы первого уровня по i -му критерию.

Оценки альтернатив первого уровня представлены в таблице 7.

Лучшей альтернативой первого уровня, согласно выраженным предпочтениям, является АПУ 1 (Пункт П1).

На заключительном 14 этапе может проводиться анализ чувствительности к изменению шкалирующих коэффициентов. Для этого незначительно изменяются шкалирующие коэффициенты МФЦ (3) и оценивается влияние на ранжирование альтернатив второго уровня. В случае, если для какой-либо АПУ при изменении коэффициентов изменяется лучшая АБУ, необходимо провести новые парные сравнения альтернатив по критериям множества G (в примере – К1, К2, К3).

Рассмотрим полученный результат. Строительство ГЭС в пункте П1 позволит обеспечить развитие транспортного узла Хонуу, решить вопросы электроснабжения объектов железной дороги при выполнении стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года.

Таблица 5

Матрица парных сравнений альтернатив по критерию К1 – «Среднесуточная гарантированная мощность ГЭС»

Пункт	П1	П2	П3	П4	П5
П1 (АПУ 1)	1	7	8	3	0,500
П2 (АПУ 2)	0,143	1	2	0,200	0,125
П3 (АПУ 3)	0,125	0,500	1	0,167	0,111
П4 (АПУ 4)	0,333	5	6	1	0,250
П5 (АПУ 5)	2	8	9	4	1

Таблица 6

Матрица парных сравнений альтернатив по критериям

Пункт (АПУ)	Вес АПУ по критерию						
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7
П1 (АПУ 1)	0,310	0,057	0,428	0,306	0,048	0,354	0,333
П2 (АПУ 2)	0,048	0,288	0,279	0,038	0,074	0,057	0,333
П3 (АПУ 3)	0,033	0,532	0,179	0,055	0,116	0,144	0,111
П4 (АПУ 4)	0,154	0,086	0,085	0,453	0,254	0,090	0,111
П5 (АПУ 5)	0,456	0,038	0,029	0,148	0,507	0,354	0,111

Таблица 7

Результат двухуровневого сравнения пунктов строительства ГЭС

Пункт (АПУ)	Оценка
П1 (АПУ 1)	0,257
П2 (АПУ 2)	0,130
П3 (АПУ 3)	0,202
П4 (АПУ 4)	0,193
П5 (АПУ 5)	0,217

Пункт обеспечивает наименьшую площадь застройки, в то же время сравнительно высокую по сравнению с конкурентными вариантами мощность, расположен в зоне с низкой относительно других пунктов сейсмичностью. Но по такому критерию, как «Воздействие на ихтиофауну», пункт имеет худшую оценку. Низкая оценка альтернативы и по стоимости строительства. Но, с учетом выраженных предпочтений, пункт П1 имеет самую высокую многокритериальную оценку. Полученный результат учитывает эффективность возможных вариантов ГЭС в пунктах строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новизна предлагаемого подхода заключается в многокритериальном рассмотрении проблемы на двух уровнях с соответствующим формированием двух уровней альтернатив. Каждая альтернатива первого уровня может иметь возможные реализации в виде альтернатив второго уровня. Альтернативы первого и второго уровня имеют различную степень детализации описаний последствий по критериям, что требует применения различных подходов к многокритериальной оценке. Предложена методика для решения задачи в такой постановке.

Предложенный многокритериальный подход может проводиться на ранних этапах инженерных изысканий, в предпроектном анализе, когда известны лишь ориентировочные данные по проблеме. Особенностью подхода является возможность избежать точной оценки альтернатив по некоторым критериям, ограничившись лишь выражением превосходства альтернатив по отношению друг к другу.

Альтернативой двухуровневому является одноуровневое рассмотрение задачи. В этом случае рассматриваются только альтернативы второго уровня по всем критериям. Для рассмотренного в статье примера анализ проводился бы среди всех АВУ (вариантов ГЭС) по семи критериям. Лучший вариант ГЭС определил бы и лучший пункт строительства. Проблемой при такой формулировке задачи является неоднозначность выбора метода многокритериального анализа. Многокритериальный выбор среди большого количества альтернатив по большому количеству критериев количественного и качественного описания не может быть эффективно проведен основными известными методами. В примере представлено 17 АВУ, а

парные сравнения методами МАИ, ELECTRE уже при десяти альтернативах становятся затруднительными из-за многочисленных запросов к ЛПР и проблемы согласованности его ответов. Методы вербального анализа потребуют преобразований количественных оценок по критериям в качественные с малым числом градаций, что сильно снизит точность оценки. Метод МАУТ при большом количестве критериев потребует больших усилий ЛПР при проверке условий независимости, процедуре построения однокритериальных функций, оценке шкалирующих коэффициентов. Кроме того, качественное описание критериев придется преобразовать в количественное, что исказит оценки и анализ. Метод последовательного сужения множества Парето [8], позволяющий исключать альтернативы на основании количественной информации об относительной важности критериев, также потребует преобразования качественных оценок в количественные. Кроме того, существует неопределенность в количестве запросов к ЛПР об относительной важности, которые потребуются для сужения исходного множества альтернатив до одной лучшей [8]. Также, для использования метода необходима проверка инвариантности отношений относительно линейного положительного преобразования, инвариантности отношений предпочтений для любых пар критериев [8]. Такие проверки являются весьма трудоемкими при большом количестве критериев, а пренебрежение проверками может стать причиной выбора неэффективной альтернативы.

В предлагаемом двухуровневом подходе проводится разделение альтернатив и критериев таким образом, что можно использовать методы многокритериального анализа в эффективной для них области применения. Этим обеспечивается сохранение оригинального описания критериев при анализе и оптимальное количество запросов к ЛПР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
2. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
3. Ларичев О. И. Вербальный анализ решений; Ин-т системного анализа РАН. – М.: Наука, 2006. – 181 с.

4. *Ноговицын Д. Д.* Водные ресурсы Якутской АССР и их использование. – Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР, 1985. – 124 с.

5. *Кини Р. Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ. / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 580 с.

Шакиров Владислав Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники, Братский государственный университет. Телефон: 8(3953)378663. E-mail: mynovember@mail.ru

Панкратьев Павел Сергеевич – аспирант кафедры электроэнергетики и электротехники, Братский государственный университет. Телефон: 89025479942. E-mail: scud33@inbox.ru

6. *Черноруцкий И. Г.* Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

7. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах.

8. *Ногин В. Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 176 с.

Shakirov Vladislav Albertovich – PhD in engineering, assistant professor of chair of electroenergetics and electrotechnics, Bratsk State University. Tel: 8(3953)378663. E-mail: mynovember@mail.ru

Pankratiev Pavel Sergeevich – the Post Graduate student of chair of electroenergetics and electrotechnics. Bratsk State University. Tel: 89025479942. E-mail: scud33@inbox.ru