

doi: 10.5862/MCE.48.5

Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

Аспирант Н.В. Баденко,

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева»;

начальник отдела Е.И. Ваксова,

ОАО «Институт Гидропроект»;

к.т.н., заведующий отделом «Геоинформационные системы и технологии» Т.С. Иванов,

ОАО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева»;

к.т.н., главный эксперт А.А. Ломоносов,

ОАО «Институт Гидропроект»;

старший преподаватель О.Г. Никонова,

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;

M.Sc., Senior Software Engineer М. В. Петрошенко,

ЗАО ИЦ «Кронштадт»

Аннотация. В статье формулируется проблема определения перспективных регионов для целей гидроэнергетического строительства. Перспективность регионов оценивается лицом, принимающим решение, с применением метода анализа иерархий.

Регионы оцениваются по 23 критериям, характеризующим текущее состояние экономики, энергетики и социально-демографическую ситуацию в регионе, а также их прогнозные значения, которые были получены на основе анализа сборников Росстата, программ развития регионов и программ развития энергетики регионов. В результате оценки каждому исследуемому региону присваивается статус: перспективный, условно перспективный и неперспективный.

Полученные результаты используются в предложенной авторами методике автоматизированного вычисления экономического гидроэнергетического потенциала с использованием ГИС-технологий. Данная методика апробирована при оценке перспективности регионов, входящих в состав Приволжского, Северо-Кавказского, Северо-Западного и Сибирского федеральных округов.

Ключевые слова: гидроэнергетический потенциал; перспективный регион; ГИС; метод анализа иерархий; перспективность ГЭС

Начиная с 70-х гг. XX в. во многих странах ведутся работы по созданию объектов возобновляемой энергетики, функционирующих на традиционных и нетрадиционных источниках энергии. Гидроэнергетика сегодня является одним из основных экологически чистых и возобновляемых источников электроэнергии, следовательно, ее можно отнести к одному из приоритетных направлений развития энергетического комплекса. В мире накоплен колоссальный опыт по проектированию, строительству и эксплуатации ГЭС различной мощности. Одним из лидеров гидроэнергетического строительства являлся СССР. Российская Федерация, как правопреемник СССР, эксплуатирует большое количество гидроэнергетических объектов. В условиях рыночной экономики необходим тщательный подход к выбору стратегии энергетического обеспечения развития регионов. Одним из путей решения указанной проблемы является строительство гидроэлектростанций [1].

В настоящее время в России проводятся крупномасштабные исследования гидроэнергетического потенциала рек для определения местоположения перспективных створов для строительства ГЭС [2, 3]. Во многих странах, например, Словакии, Франции, Италии, Норвегии, США, Канаде, Турции, Малайзии, Южной Африке ведутся работы по оценке гидроэнергетического потенциала рек, составляются международные обзоры [4–9]. Причем значительная часть исследований, ориентированная на решение задач гидроэнергетики, проводится с применением ГИС-технологий [10–18].

Однако последние масштабные исследования гидроэнергетического потенциала рек России, проводившиеся под руководством С.В. Григорьева, А.Н. Вознесенского и Б.Н. Фельдмана, относятся к 1940–80-м годам [19–21]. Многие десятилетия строительство новых ГЭС служило толчком для экономического развития не только отдельных городов, но и целых регионов. Тем не менее, гидроэнергетический потенциал России исследован сравнительно мало. Процент освоенных гидроэнергоресурсов в России составляет около 23,4 %, в то же время в наиболее развитых Баденко Н.В., Ваксова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

странах мира этот процент, как правило, существенно выше: в Германии 95 %, во Франции 95 %, в Италии 95 %, в Великобритании 90 %, в Японии 84 %, в США 82 %, в Канаде 65 % [22].

Большая часть гидроэнергетического потенциала России сосредоточена в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке – в бассейнах Енисея, Лены и Амура. На Енисее и его крупнейших притоках – Ангаре, Нижней и Подкаменной Тунгуске – возможно строительство свыше десятка мощных ГЭС совокупной мощностью более 30 ГВт и выработкой более 100 млрд кВт·ч, электроэнергия с которых может быть проведена на Урал и далее в европейскую часть страны по линиям постоянного и переменного тока сверхвысокого напряжения. Строительство ГЭС на Дальнем Востоке связано с развитием проектов по добыче и переработке полезных ископаемых. В европейской части страны возможно освоение неиспользованной части гидроэнергетического потенциала путем строительства средних и малых ГЭС, особенно на Северном Кавказе, Северо-Западе и Урале [23].

Авторами настоящей статьи предложена методика оценки гидроэнергетического потенциала рек с применением ГИС-технологий на основе бассейново-ландшафтного подхода, при котором границы водохозяйственных участков – это естественные водоразделы, являющиеся необходимым условием для определения водосборной площади рек на рассматриваемой территории [24, 25].

Задача по обоснованию экономической целесообразности строительства гидроэнергетических объектов в том или ином регионе, очевидно, является многокритериальной [26, 27]. Причем одним из важнейших является критерий, отражающий достаточный экономический гидропотенциал рек, т. е. ту часть гидропотенциала рек, использование которой экономически оправдано в конкретном месте.

При решении задачи об определении экономического гидропотенциала рек регионов, прежде всего, должна быть решена задача об оценке перспективности регионов для целей гидроэнергетического строительства.

Авторами была разработана методика оценки перспективности гидроэнергетического строительства в субъектах РФ (регионах) на основе экономических, энергетических, социально-демографических данных. Для этого был разработан ГИС-модуль, позволяющий графоаналитическим способом оценить перспективность каждого исследуемого региона. Апробация методики проведена на основе данных о регионах, входящих в состав Северо-Кавказского, Северо-Западного, Приволжского и Сибирского федеральных округов.

При решении рассматриваемой задачи были сформулированы рамочные требования к регионам, пригодным для гидроэнергетического строительства:

- 1) максимальное производство и потребление электроэнергии в регионе электростанциями различного типа;
- 2) наличие положительной тенденции социально-демографических показателей региона;
- 3) наличие положительной динамики в демографической ситуации в регионе;
- 4) наличие потенциальных потребителей электроэнергии в регионе;
- 5) преобладание благоприятных комплексных показателей региона;
- 6) наличие положительной динамики в росте экономических показателей региона.

Основываясь на указанных требованиях, мы сформулировали 23 критерия, характеризующие текущее состояние экономики, энергетики и социально-демографическую ситуацию в регионе, а также их прогнозные значения, которые были получены на основе анализа сборников Росстата, программ развития регионов и программ развития энергетики регионов (рис. 1). Сопоставление данных проводилось по линиям линейной регрессии и медианным значениям за период 2007–2018 гг. На рисунке 2 представлены гистограммы изменения критерия «электропотребление» для Красноярского края в текущих (2007–2011 гг.) и прогнозных значениях (2012–2018 гг.) с построением аппроксимации – линий линейной регрессии, по углу наклона которых определяется динамика изменения показателя за исследуемый период.



Рисунок 1. Критерии системы оценки, принятые в модуле «Заполнение таблиц по субъектам РФ»: – по линиям линейной регрессии; – по медианным значениям



Рисунок 2. Аналитическая справка показателя «электропотребление» по региону на примере Красноярского края: 0 – динамика показателя отрицательная; 1 – динамика без изменений; 2 – положительная динамика

В основу настоящей методики положен метод анализа иерархий, предложенный американским математиком Т. Саати в 1972 г. Метод предназначен для решения многокритериальных задач с конечным множеством возможных векторов и позволяет осуществлять сравнение вариантов без их оценки по абсолютной шкале [28].

Метод заключается в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лицом, принимающим решение (в предложенной методике – эксперта), по парным сравнениям. В результате может быть численно выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. В соответствии с методом эксперт проводит попарные сравнения всех критериев с

помощью шкалы относительной важности, выражая количественным значением степень превосходства одного критерия по отношению к другому. При этом формируется матрица парных сравнений критериев. Затем аналогично проводится парное сравнение альтернатив по каждому критерию, формируются матрицы парных сравнений альтернатив. Вычислив собственные векторы матриц парных сравнений, проведя нормирование его элементов, можно получить весовые коэффициенты критериев и альтернатив.

Ввиду сложности системы и многообразия учитываемых критериев, представленных на рисунке 1, последние были собраны в группы согласно описанным рамочным требованиям. Весовые коэффициенты рассчитывались для каждой группы критериев.

Каждый рассматриваемый регион был оценен по 23 критериям, разбитым на 6 групп, с помощью разработанного ГИС-модуля. В частности, на интерактивной карте ГИС-модуля выбирался регион исследования (рис. 3), в специальные формы заносились данные из сборников Росстата, программ развития региона и программ развития энергетики региона (рис. 4). Затем выводилась аналитическая справка, отражающая текущее состояние и динамику развития исследуемого региона относительно каждого критерия (рис. 2).

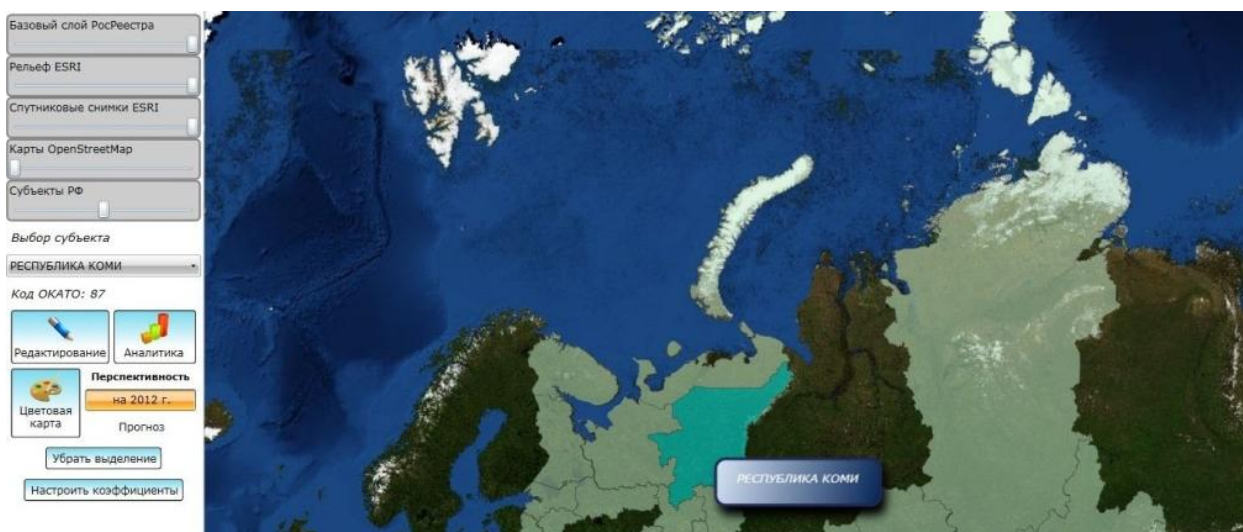


Рисунок 3. Выбор региона для анализа на интерактивной карте на примере Республики Коми

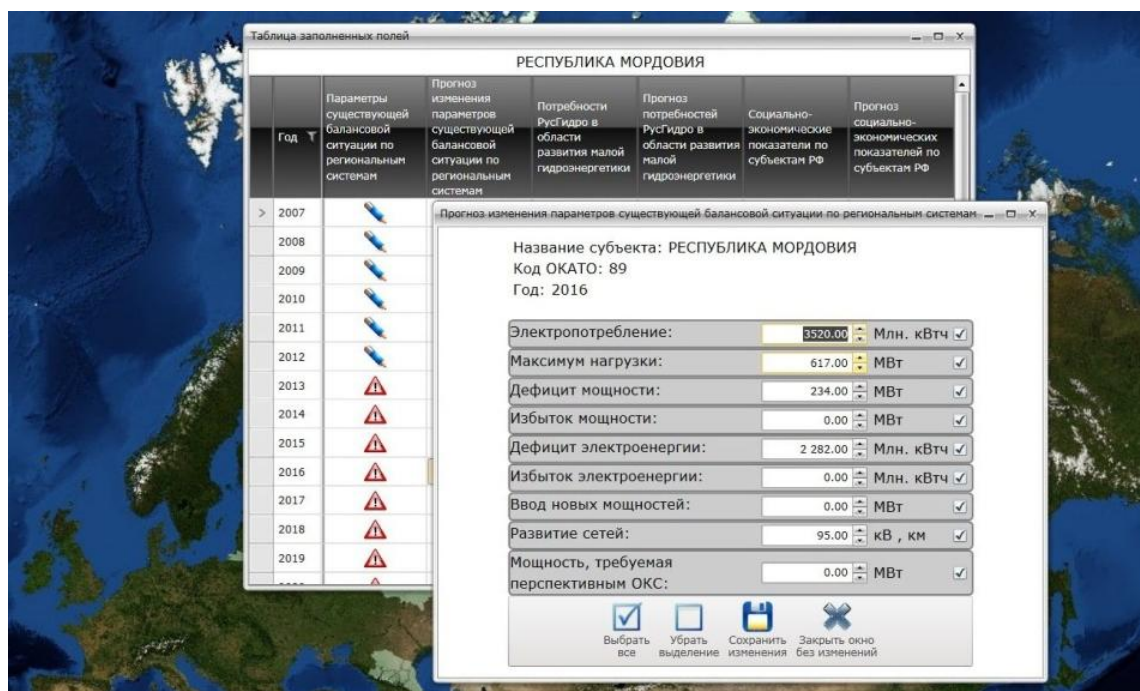


Рисунок 4. Пример занесения данных существующих по Республике Мордовия

Баденко Н.В., Вакова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

Каждому критерию исследуемого региона присваивалось определенное численное значение, отражающее динамику изменения критерия в регионе (ниже базового, без изменений, выше базового; есть, нет).

Далее для исследуемого региона рассчитывался региональный суммарный коэффициент перспективности ($K_{сумм}$) как сумма произведений весовых коэффициентов, отражающих важность критериев одной группы и суммы значений критериев данной группы:

$$K_{сумм} = \sum_{i=1}^n (K_{группы} * W_i) , \quad (1)$$

где $K_{группы}$ – сумма значений критериев i -й группы:

$$K_{группы} = \sum_{j=1}^m (K_j) ; \quad (2)$$

n – количество групп критериев;

W_i – весовой коэффициент влияния критериев i -й группы;

W_1 – производство и потребление электроэнергии в регионе;

W_2 – социально-демографические характеристики региона;

W_3 – демографическое состояние региона;

W_4 – наличие потенциальных потребителей электроэнергии, вырабатываемой МГЭС;

W_5 – экономическое состояние региона;

W_6 – комплексные критерии;

m – количество критериев в одной группе;

K_j – значение j -го критерия в одной группе.

Весовые коэффициенты (W_i) и пороговые значения коэффициентов перспективности ($K_{сумм}^{НП}$, $K_{сумм}^{УП}$), отражающих наличие положительной динамики в конкретном регионе по каждому из критериев, были определены с применением метода анализа иерархий.

Для декомпозиции проблемы определения перспективности исследуемых регионов было составлено дерево иерархий, состоящее из двух уровней.



Рисунок 5. Дерево иерархий

Цель создания дерева иерархий – определение соотношения числа перспективных, условно перспективных (т. е. строительство возможно, но требуется более детальный анализ, в том числе анализ возможности дополнительных государственных субсидий, поддержки строительства на региональном уровне) и неперспективных регионов для гидроэнергетического строительства с вычислением коэффициентов важности групп критериев Г1–Г6 на основании мнения эксперта. Зная описанное соотношение, можно определить пороговые значения коэффициентов перспективности регионов ($K_{сумм}$) при отнесении регионов к одному из трех классов. Задача Баденко Н.В., Ваксова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

эксперта – высказать свое мнение о важности учета групп критериев Г1–Г6 при определении перспективности каждого региона.

При составлении матрицы парных сравнений первого уровня эксперту предлагалось оценить соотношение неперспективных, условно перспективных и перспективных регионов. В результате обработки данных были рассчитаны локальные приоритеты первого уровня, показывающие, как, по мнению эксперта, могут распределиться все рассматриваемые регионы.

Далее эксперту было предложено произвести попарное сравнение важности групп критериев Г1–Г6 для присвоения статуса перспективности региону. Заполняя таблицу парных сравнений, эксперт указывал, во сколько раз важность одной группы критериев больше другой.

Свое мнение эксперт выражал, используя Шкалу относительной важности, разработанную Саати и Кернсом для метода анализа иерархий (табл. 1) [28, 29].

Таблица 1. Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	Пояснение
1	Равная важность
3	Умеренное превосходство одного над другим
5	Существенное или сильное превосходство
7	Значительное превосходство
9	Очень сильное превосходство
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями (применяются в компромиссном случае)
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении первого элемента со вторым получено одно из вышеуказанных чисел (например, 3), то при сравнении второго элемента с первым получим обратную величину (т. е. 1/3)

В результате были получены коэффициенты важности первого уровня, отражающие соотношение перспективных, условно перспективных и неперспективных регионов.

Далее эксперт высказывал свое мнение о том, насколько важны группы критериев Г1–Г6 при определении перспективности регионов. На основе его ответов были составлены три матрицы парных сравнений второго уровня. В результате обработки были рассчитаны три набора локальных коэффициентов важности второго уровня. Каждый набор отражал распределение важности групп критериев Г1–Г6 для неперспективных, условно перспективных и перспективных регионов.

Описанный алгоритм был реализован средствами программы Mathcad с учетом мнения лиц, принимающих решения, были составлены матрицы парных сравнений важности групп критериев перспективности (Г1–Г6).

Эксперт указывает:
во сколько раз важность Г1 больше Г2 (d12)
...
во сколько раз важность Г5 больше Г6 (d56)

$P := \begin{pmatrix} 1 & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ \frac{1}{d_{12}} & 1 & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ \frac{1}{d_{13}} & \frac{1}{d_{23}} & 1 & d_{34} & d_{35} & d_{36} \\ \frac{1}{d_{14}} & \frac{1}{d_{24}} & \frac{1}{d_{34}} & 1 & d_{45} & d_{46} \\ \frac{1}{d_{15}} & \frac{1}{d_{25}} & \frac{1}{d_{35}} & \frac{1}{d_{45}} & 1 & d_{56} \\ \frac{1}{d_{16}} & \frac{1}{d_{26}} & \frac{1}{d_{36}} & \frac{1}{d_{46}} & \frac{1}{d_{56}} & 1 \end{pmatrix}$	<p>Проверка индекса совместности</p> <p>CI = 0.1</p> <p>Получили коэффициенты для P регионов:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 80%;">wr1 – весовой коэффициент для Г1</td> <td style="width: 20%; text-align: right;">0.19</td> </tr> <tr> <td>wr2 – весовой коэффициент для Г2</td> <td style="text-align: right;">0.08</td> </tr> <tr> <td>wr3 – весовой коэффициент для Г3</td> <td style="text-align: right;">0.09</td> </tr> <tr> <td>wr4 – весовой коэффициент для Г4</td> <td style="text-align: right;">0.48</td> </tr> <tr> <td>wr5 – весовой коэффициент для Г5</td> <td style="text-align: right;">0.07</td> </tr> <tr> <td>wr6 – весовой коэффициент для Г6</td> <td style="text-align: right;">0.1</td> </tr> </table>	wr1 – весовой коэффициент для Г1	0.19	wr2 – весовой коэффициент для Г2	0.08	wr3 – весовой коэффициент для Г3	0.09	wr4 – весовой коэффициент для Г4	0.48	wr5 – весовой коэффициент для Г5	0.07	wr6 – весовой коэффициент для Г6	0.1
wr1 – весовой коэффициент для Г1	0.19												
wr2 – весовой коэффициент для Г2	0.08												
wr3 – весовой коэффициент для Г3	0.09												
wr4 – весовой коэффициент для Г4	0.48												
wr5 – весовой коэффициент для Г5	0.07												
wr6 – весовой коэффициент для Г6	0.1												

Рисунок 6. Определение комбинации весовых коэффициентов важности групп критериев перспективности на примере расчета для перспективных регионов

Баденко Н.В., Вакова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

Для матриц парных сравнений были рассчитаны собственные числа заданной матрицы, а затем проведена проверка индекса совместности, который не может превышать значения 0,1 для принятой шкалы оценки. Составлена система линейных уравнений и найдено решение для нее в виде столбца нормированных весовых коэффициентов важности групп критериев перспективности (Г1–Г6). На рисунке 6 представлен пример расчетов для матрицы парных сравнений перспективных регионов.

В результате проведенных вычислений были определены весовые коэффициенты групп критериев Г1–Г6 (W_i), отражающие важность критериев каждой группы, представленные на рис. 7, а также соотношение (доли) перспективных, условно перспективных и неперспективных регионов ($W^{П}$, $W^{УП}$, $W^{НП}$).

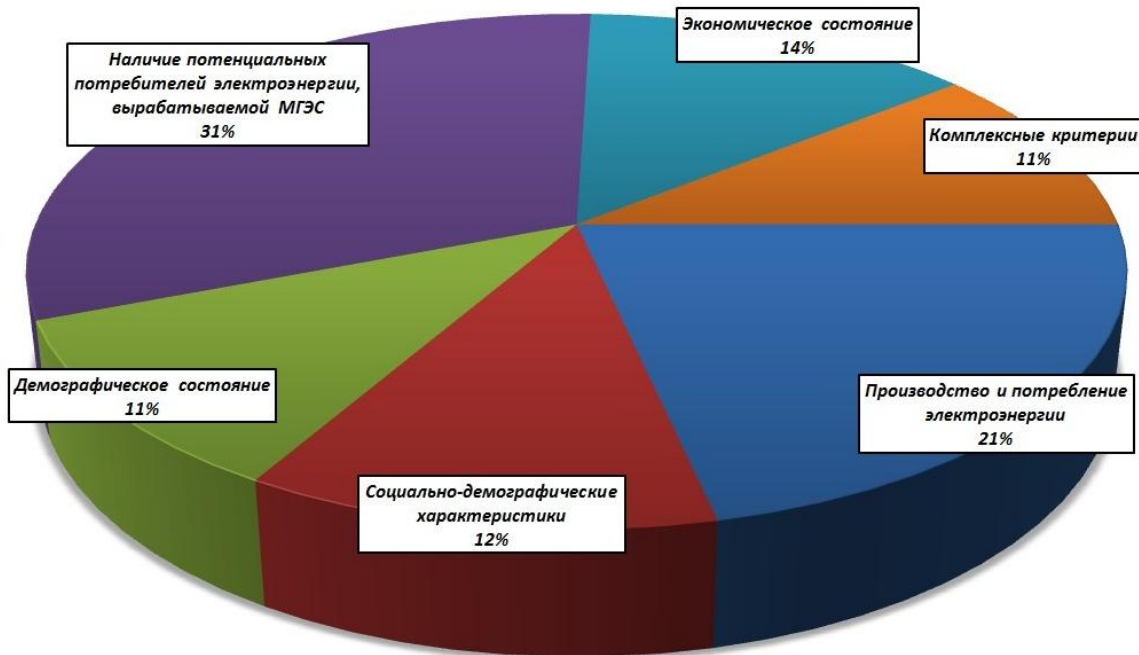


Рисунок 7. Значения весовых коэффициентов важности групп критериев, определенные с учетом мнения эксперта

Анализ перспективности региона проводился при сопоставлении суммарных коэффициентов перспективности регионов ($K_{сумм}$) с пороговыми значениями.

Пороговые значения $K_{сумм}$ определены исходя из его теоретически возможного значения и коэффициентов важности первого уровня:

$$K_{сумм}^{макс} = \sum_{i=1}^m (2 * m_i * W_i), \quad (3)$$

где 2 – максимально возможное значение критерия;

m_i – количество критериев в i -й группе;

W_i – весовой коэффициент влияния критериев i -й группы.

Пороговое значение $K_{сумм}$ при отнесении регионов к неперспективным и условно перспективным:

$$K_{сумм}^{НП} = W^{НП} * K_{сумм}^{макс}, \quad (4)$$

где $W^{НП}$ – весовой коэффициент влияния критериев для неперспективных регионов;

$K_{сумм}^{макс}$ – теоретически возможное значение $K_{сумм}$.

Пороговое значение $K_{сумм}$ при отнесении регионов к условно перспективным и перспективным:

$$K_{сумм}^{УП} = K_{сумм}^{НП} + W^{УП} * K_{сумм}^{макс}, \quad (5)$$

где $W^{УП}$ – весовой коэффициент влияния критериев для условно перспективных регионов;

$K_{сумм}^{макс}$ – теоретически возможное значение $K_{сумм}$.

Таким образом, при сопоставлении $K_{сумм}$ регионов с пороговыми значениями все исследуемые регионы были отнесены к перспективным, условно перспективным или неперспективным (табл. 2).

Таблица 2. Классификация перспективности регионов

Название класса	Значение класса
перспективный	$K_{сумм} > K_{сумм}^{УП}$
условно перспективный	$K_{сумм}^{НП} \leq K_{сумм} \leq K_{сумм}^{УП}$
неперспективный	$K_{сумм} < K_{сумм}^{НП}$

По итогам проведенных вычислений ГИС-модуль присваивает цветовое обозначение каждому региону по шкале: перспективен, условно перспективен, неперспективен (рис. 8).

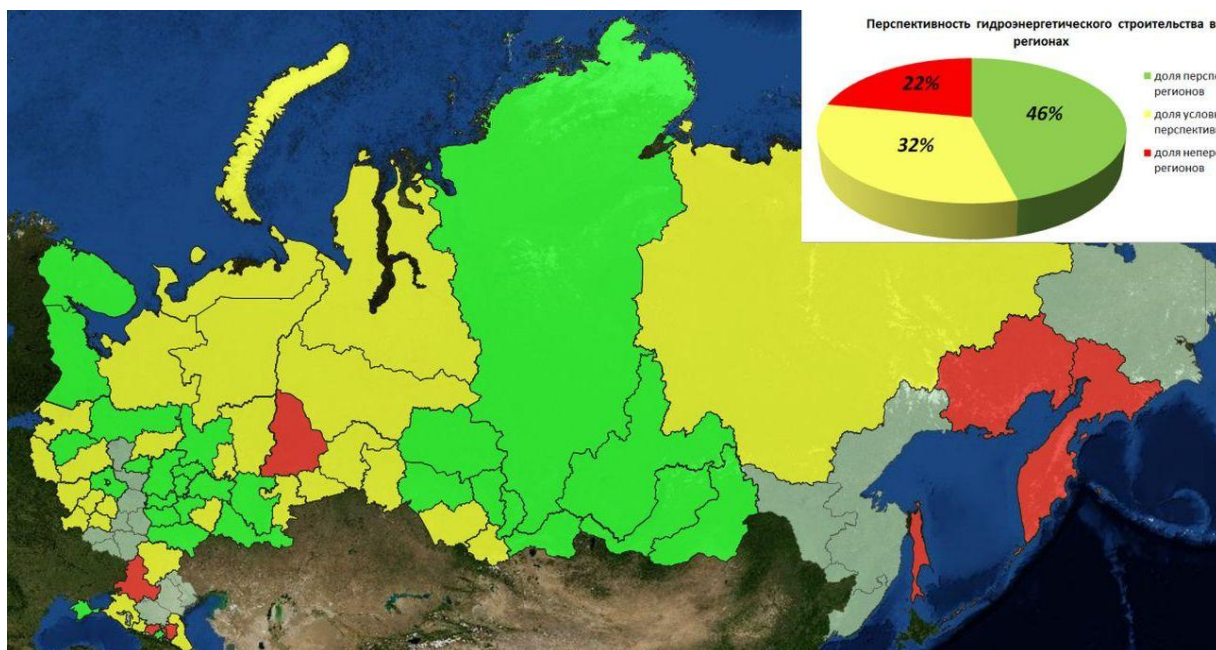


Рисунок 8. Карта перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ (зеленый – перспективно, желтый – условно перспективно, красный – неперспективно, серый – данные отсутствуют)

В последующих расчетах экономического гидропотенциала анализируются только перспективные и условно перспективные регионы.

Выводы

Предложенная методика оценки перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ, основанная на методе анализа иерархий, позволяет проводить оценку текущего и прогнозного состояния регионов РФ. В результате ее применения рассчитываются коэффициенты перспективности для каждого исследуемого региона, а также определяются пороговые значения указанного коэффициента при отнесении регионов к неперспективным, условно перспективным и перспективным. Сопоставление результатов классификации регионов с данными оценки, произведенной экспертом по традиционной методике, имеет хорошую сходимость.

Предложенная методика является особенно эффективной на начальных этапах обоснования возможности гидроэнергетического строительства, когда потенциальный собственник или инвестор только намеревается инициировать новый проект.

Баденко Н.В., Ваксова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

При большом количестве вариантов (исследуемых регионов) методика позволяет отсеять неперспективные варианты, чем существенно уменьшает объем работы и анализа на последующих этапах.

Особенностью подхода является возможность избежать точной оценки альтернатив по критериям, ограничившись лишь выражением превосходства альтернатив относительно друг друга. Эта возможность особенно важна в условиях, когда по целому ряду критериев оценка может быть дана в виде набора характеристик, графиков зависимости, словесного описания.

Преимуществом методики является возможность закладывать дополнительные критерии оценки, а также доступ к первичным данным, обосновывающим полученный результат.

Литература

1. Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И. и др. Использование водной энергии (учебник для вузов). М.: Энергоатомиздат, 1995. 608 с.
2. Малые ГЭС [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rushydro.ru/industry/res/tidal> (дата обращения: 12.05.2014).
3. Шестопалов П.В. Почему гидроэнергетический потенциал Северного Кавказа используется лишь на треть? // Энергополис. 2012. №7-8. С. 36–37.
4. Punys P., Dumbrasukas A., Kvaraciejus A., Vyciene G. Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications // *Energies*. 2011. No. 4(9). Pp. 1258–1277.
5. Hall D.G., Cherry S.J., Reeves K.S., Lee R.D., Carroll G.R., Sommers G.L., Verdin K.L. Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources. IDAHO National Engineering and Environmental Laboratory. 2004. [Электронный ресурс]. URL: <http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/pdfs/03-11111.pdf> (дата обращения: 30.04.2014).
6. Ahmad S., Tahar R.M. Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia // *Renewable energy*. 2014. Vol. 63. Pp. 458–466.
7. Dudhani S., Sinha A.K., Inamdar S.S. Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India // *Energy policy*. 2006. Vol. 34. Issue 17. Pp. 3195–3205.
8. Patel S. The power potential of Southern Africa // *Power*. February 1, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powermag.com/the-power-potential-of-southern-africa/> (дата обращения: 30.04.2014)
9. Melikoglu M. Hydropower in Turkey: Analysis in the view of Vision 2023 // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 25. Pp. 503–510.
10. Hall D.G., Reeves K.S., Brizzee J., Lee R.D., Carroll G.R., Sommers G.L. Feasibility Assessment of the Water Energy Resources of the United States for New Low Power and Small Hydro Classes of Hydroelectric Plants. IDAHO National Engineering and Environmental Laboratory. 2006. [Электронный ресурс] URL: http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/pdfs/main_report_appendix_a_final.pdf (дата обращения: 30.04.2014)
11. Hall D.G., Lee R.D. Assessment of Opportunities for New United States Pumped Storage Hydroelectric Plants Using Existing Water Features as Auxiliary Reservoirs. IDAHO National Engineering and Environmental Laboratory. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/d/pumped-storage-hydro-assessment-report-published-version-20mar14.pdf> (дата обращения: 30.04.2014)
12. Monk R., Joyce S., Homenuke M., Rapid Hydropower Assessment Model: Identify Hydroelectric Sites Using Geographic Information Systems // *Proceedings of the Small Hydro Conference 2009*. Vancouver, Canada. April 2009. Pp. 28–29.
13. Alterach J., Lterach J., Pevani M., Davitti A., Vergata M., Ciaccia G., Fontini F. Evaluation of the remaining hydro potential in Italy // *The International Journal on Hydropower & Dams*. 2009. No. 5. Pp. 56–59.
14. Voksø A. Using GIS to calculate potential for small hydro power plants in Norway // *Proceedings of the XXV Nordic Hydrological Conference, Nordic Association for Hydrology*. Reykjavik, Iceland. 11–13 August 2008. Pp. 477–481.
15. Larentis D.G., Collischonn W., Olivera F., Tucci C.E.M. GIS-based procedures for hydropower potential spotting. *Energy*. 2010. Vol. 35. Issue 10. Pp. 4237–4243.
16. Gergel'ová M., Kuzevičová Z., Kuzevič S. A GIS-based assessment of hydropower potential in hornád basin // *Acta Montanistica Slovaca*. 2013. Vol. 18. Issue 2. Pp. 91–100.

Баденко Н.В., Ваксова Е.И., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Никонова О.Г., Петрошенко М.В. Оценка перспективности гидроэнергетического строительства в регионах РФ на основе метода анализа иерархий

17. Fitzgerald N., Lacal Arántegui R., McKeogh E., Leahy P. A GIS-based model to calculate the potential for transforming conventional hydropower schemes and non-hydro reservoirs to pumped hydropower schemes // Energy. 2012. Vol. 41. Issue 1. Pp. 483–490.
18. Jensen T. Estimation of the Potential for Small Power Plants in Norway. Report No. 19. Norwegian Water Resources and Energy Directorate: Oslo, Norway. 2004.
19. Григорьев С.В. Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1946. 115 с.
20. Вознесенский А.Н. Энергетические ресурсы СССР. М.: Наука, 1967. 598 с.
21. Фельдман Б.Н., Михайлов Л.П., Марканова Т.К. Малая гидроэнергетика. М.: Энергоиздат, 1989. 184 с.
22. Гришковец Е. Вечная энергия // Business Guide Гидроэнергетика. Приложение к газете «Коммерсантъ». 2011. №40(95). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kommersant.ru/doc/1756419> (дата обращения: 30.04.2014).
23. Иванов Т.С., Баденко Н.В., Олешко В.А. Геоинформационные методы поиска перспективных створов для строительства ГЭС // Инженерно-строительный журнал. 2013. №4(39). С. 70–82.
24. Баденко Н.В., Бакановичус Н.С., Воронков О.К., Иванов Т.С., Ломоносов А.А., Олешко В.А., Петрошенко М.В. Разработка методологического обеспечения процесса автоматизированного вычисления гидроэнергетического потенциала рек с использованием геоинформационных систем // Инженерно-строительный журнал. 2013. №6(41). С. 62–76.
25. Федоров М.П., Щавелев Д.С. Многокритериальный анализ при технико-экономическом обосновании гидроэнергетических объектов // Известия Российской академии наук. Энергетика и транспорт. 1989. №2. С. 40–47.
26. Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Осипов Г.К. Ландшафтно-бассейновый подход к организации экологического мониторинга гидроэнергокомплексов на основе геоинформационных технологий // Гидротехническое строительство. 1998. №11. С. 25–27.
27. Цимбалай Ю.М. Ландшафтно-бассейновый подход при оценке водных ресурсов // Мир науки, культуры, образования. 2008. №4. С. 13–15.
28. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Либроком, 2011. 357 с.
29. Малин А.С., Мухин В.И. Исследование систем управления: Учебник для вузов. М.: ГУ ВШУ, 2002. 400 с.

*Николай Владимирович Баденко, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(812)493-93-17; эл. почта: badenkonv@vniig.ru*

*Евгения Ильинична Вакова, Москва, Россия
Тел. раб.: +7(945)727-36-48; эл. почта: hydro@hydroproject.ru*

*Тимофей Сергеевич Иванов, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(812)493-93-17; эл. почта: ivanovts@vniig.ru*

*Алексей Анатольевич Ломоносов, Москва, Россия
Тел. раб.: +(495)727-36-48; эл. почта: a.lomonosov@hydroproject.ru*

*Ольга Геннадьевна Никонова, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)3338056; эл. почта: olganikonova@yandex.ru*

*Максим Владимирович Петрошенко, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(904)6459673; эл. почта: MaxPetroshenko@gmail.com*

© Баденко Н. В., Вакова Е. И., Иванов Т. С., Ломоносов А. А., Никонова О. Г.,
Петрошенко М. В., 2014

doi: 10.5862/MCE.48.5

Detecting prospective regions in the Russian Federation for hydroelectric development based on analytic hierarchy process

N.V. Badenko*"B.E. Vedeneev VNIIG" JSC, Saint-Petersburg, Russia
+78124939317; e-mail: badenkov@vniig.ru***E.I. Vaksova***"Institute Hydroproject" JSC, Moscow, Russia
+79457273648; e-mail: hydro@hydroproject.ru***T.S. Ivanov***"B.E. Vedeneev VNIIG" JSC, Saint-Petersburg, Russia
+78124939317; e-mail: ivanovts@vniig.ru***A.A. Lomonosov***"Institute Hydroproject" JSC, Moscow, Russia
+74957273648; e-mail: a.lomonosov@hydroproject.ru***O.G. Nikonova***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+79213338056; e-mail: olganikonova@yandex.ru***M.V. Petroshenko***Research center "Kronshtadt", Saint-Petersburg, Russia
+7(904)6459673; e-mail: MaxPetroshenko@gmail.com*

Key words

renewable energy; hydroelectric potential; prospective region; geographical information system; Analytic Hierarchy Process (AHP), decision support; hydropower plant; hydroelectric development

Abstract

The aim of the article was to describe the method of detecting the prospective regions in the Russian Federation for hydroelectric development. The method is based on Analytic Hierarchy Process (AHP).

According to the method, every region is estimated by a decision-maker. The authors of the method elaborated 23 criteria, characterizing the electric power generation and consumption, the current economic and sociodemographic conditions of the regions and also their forecasting. The regions were estimated by these criteria. Data for this study were collected from the Russian Federal State Statistics Service, Federal Subjects Development Programs and Power Industry Development Programs for regions.

As a result of this method, every estimated region gains a status: prospective, normally prospective and non-prospective for hydroelectric development. The results can be applied to calculate the economic hydroelectric potential. The method was tested for detecting the prospective regions of the Volga Federal District, North Caucasian Federal District, Northwestern Federal District, Siberian Federal District for hydroelectric development.

References

1. Vasilyev Yu.S., Yelistratov V.V., Kubyshev L.I. [et al]. *Ispolzovaniye vodnoy energii (uchebnik dlya vuzov)* [Usage of Water Energy (textbook)]. Moscow: Energoatomizdat, 1995. 608 p. (rus)
 2. *Malyye GES* [Small hydro power plants]. [Online resource]. URL: <http://www.rushydro.ru/industry/res/tidal>. (accessed: May 12, 2014) (rus)
 3. Shestopalov P.V. Pochemu gidroenergeticheskiy potentsial Severnogo Kavkaza ispolzuyetsya lish na tret? [Why is the North Caucasus Hydroelectric Potential Using on the One Third only?]. *Energopolis*. 2012. No. 7-8. Pp. 36–37. (rus)
 4. Punys P., Dumbrasukas A., Kvaraciejus A., Vyciene G. Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications. *Energies*. 2011. No. 4(9). Pp. 1258–1277.
 5. Hall D.G., Cherry S.J., Reeves K.S., Lee R.D., Carroll G.R., Sommers G.L., Verdin K.L. *Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources*. IDAHO National
- Badenko N.V., Vaksova E.I., Ivanov T.S., Lomonosov A.A., Nikonova O.G., Petroshenko M.V. Detecting prospective regions in the Russian Federation for hydroelectric development based on analytic hierarchy process

- Engineering and Environmental Laboratory. 2004. [Online resource]. URL: <http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/pdfs/03-11111.pdf> (accessed: April 30, 2014).
6. Ahmad S., Tahar R.M. Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable energy*. 2014. Vol. 63. Pp. 458–466.
 7. Dudhani S., Sinha A.K., Inamdar S.S. Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India. *Energy policy*. 2006. Vol. 34. Issue 17. Pp. 3195–3205.
 8. Patel S. The power potential of Southern Africa. *Power*. 2014. February 1, 2014. [Online resource]. URL: <http://www.powermag.com/the-power-potential-of-southern-africa/> (accessed: April 30, 2014).
 9. Melikoglu M. Hydropower in Turkey: Analysis in the view of Vision 2023. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 25. Pp. 503–510.
 10. Hall D.G., Reeves K.S., Brizzee J., Lee R.D., Carroll G.R., Sommers G.L. Feasibility Assessment of the Water Energy Resources of the United States for New Low Power and Small Hydro Classes of Hydroelectric Plants. IDAHO National Engineering and Environmental Laboratory. 2006. [Online resource] URL: http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/pdfs/main_report_appendix_a_final.pdf (accessed: April 30, 2014).
 11. Hall D.G., Randy D.L. *Assessment of Opportunities for New United States Pumped Storage Hydroelectric Plants Using Existing Water Features as Auxiliary Reservoirs*. IDAHO National Engineering and Environmental Laboratory. 2014. [Online resource]. URL: <http://hydropower.inel.gov/resourceassessment/d/pumped-storage-hydro-assessment-report-published-version-20mar14.pdf> (accessed: April 30, 2014).
 12. Monk R., Joyce S., Homenuke M., Rapid Hydropower Assessment Model: Identify Hydroelectric Sites Using Geographic Information Systems. *Proceedings of the Small Hydro Conference 2009*. Vancouver. Canada. April 2009. Pp. 28–29.
 13. Alterach J., Lterach J., Pevani M., Davitti A., Vergata M., Ciaccia G., Fontini F. Evaluation of the remaining hydro potential in Italy. *The International Journal on Hydropower & Dams*. 2009. No. 5. Pp. 56–59.
 14. Voksø A. Using GIS to calculate potential for small hydro power plants in Norway. *Proceedings of the XXV Nordic Hydrological Conference, Nordic Association for Hydrology*. Reykjavik. Iceland. 11–13 August 2008. Pp. 477–481.
 15. Larentis D.G., Collischonn W., Olivera F., Tucci, C.E.M. GIS-based procedures for hydropower potential spotting. *Energy*. 2010. Vol. 35. Issue 10. Pp. 4237–4243.
 16. Gergel'ová M., Kuzevičová Z., Kuzevič S. A GIS-based assessment of hydropower potential in hornád basin. *Acta Montanistica Slovaca*. Vol. 18. Issue 2. 2013. Pp. 91–100.
 17. Fitzgerald N., Lacał Arántegui R., McKeogh E., Leahy P. A GIS-based model to calculate the potential for transforming conventional hydropower schemes and non-hydro reservoirs to pumped hydropower schemes. *Energy*. 2012. Vol. 41. Issue 1. Pp. 483–490.
 18. Jensen T. *Estimation of the Potential for Small Power Plants in Norway*. Report No. 19. Norwegian Water Resources and Energy Directorate: Oslo, Norway. 2004.
 19. Grigoryev S.V. *Potentsialnyye energoresursy malykh rek SSSR* [Potential Energy Resources of USSR Small Rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1946. 115 p. (rus)
 20. Voznesenskiy A.N. *Energeticheskiye resursy SSSR* [USSR Energy Resources]. Moscow: Nauka, 1967. 598 p. (rus)
 21. Feldman B.N., Mikhaylov L.P., Markanova T.K. *Malaya gidroenergetika* [Small Hydropower]. Moscow: Energoizdat, 1989. 184 p. (rus)
 22. Grishkovets Ye. Vechnaya energiya [Permanent Energy]. *Business Guide: Hydropower Supplement to newspaper "Kommersant"* 2011. Vol. 40(95). [Online resource]. URL: <http://www.kommersant.ru/doc/1756419> (accessed: 30.04.2014) (rus)
 23. Ivanov T.S., Badenko N.V., Oleshko V.A. Geoinformatsionnyye metody poiska perspektivnykh stvorov dlya stroitelstva GES [Geoinformation Method of Identifying Locations for Prospective HPP]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 4(39). Pp. 70–82. (rus)
 24. Badenko N.V., Bakanovichus N.S., Voronkov O.K., Ivanov T.S., Lomonosov A.A., Oleshko V.A., Petroshenko M.V. Razrabotka metodologicheskogo obespecheniya protsessa avtomatizirovannogo vychisleniya gidroenergeticheskogo potentsiala rek s ispolzovaniyem geoinformatsionnykh system [Development of methodology for partially automated hydropower potential calculations using GIS-technologies]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 6 (41). Pp. 62–76. (rus)

25. Fedorov M.P., Shchavelev D.S. Mnogokriterialnyy analiz pri tekhniko-ekonomicheskoy obosnovanii gidroenergeticheskikh ob'yektov [Multi-Criteria Analysis for Feasibility Study of Hydropower Objects]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Power Industry and Transport*. 1989. No. 2. Pp. 40–47. (rus)
26. Arefyev N.V., Badenko V.L., Osipov G.K. Landshaftno-basseynovyy podkhod k organizatsii ekologicheskogo monitoringa gidroenergokompleksov na osnove geoinformatsionnykh tekhnologiy [Landscape and River Basin Approach to on the Environmental Monitoring Organization of Hydropower Complexes on the Basis of GIS-technologies]. *Hydrotechnical Construction*. 1998. No. 11. Pp. 25–27. (rus)
27. Tsimbaley Yu. M. Landshaftno-basseynovyy podkhod pri otsenke vodnykh resursov [Landscape and River Basin Approach for Water Resources Assessment]. *Mir nauki, kultury, obrazovaniya*. 2008. No. 4. Pp. 13–15. (rus)
28. Saati T.L. Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskiye seti [Decision-making at Dependences and Feedbacks: Analytical Networks]. Moscow: Librokom, 2011. 357 p. (rus)
29. Malin A.S., Mukhin V.I. *Issledovaniye sistem upravleniya: Uchebnyy dlya vuzov* [Control System Research (textbook)]. Moscow: GU VSHU, 2002. 400 p. (rus)

Full text of this article in English: pp. 39–48