

ЕКОЛОГИЯ ECOLOGY

УДК 621.311

М.Т. КОКОРИНА

ОЦЕНКА И ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ С НИЗКИМИ И НУЛЕВЫМИ ВЫБРОСАМИ CO₂

Целью данной работы является повышение объемов генерации энергии возобновляемыми и нетрадиционными источниками энергии Украины. Планирование энергообеспечения регионов Украины состоит из следующих этапов: прогнозирование энергетических показателей, выбор приоритетных технологий генерации и оценка рисков генерации возобновляемыми и нетрадиционными источниками энергии. Обосновано применение адаптивных моделей прогнозирования, в частности метода Хольта-Винтерса для прогнозирования энергетических и финансовых показателей. Выбор приоритетных технологий осуществляется с помощью Метода Анализа Иерархий. В работе также приведена классификация рисков, которые могут возникнуть в процессе работы предприятий энергетической отрасли. Для анализа использован Метод Анализа Сетей и соответствующее программное обеспечение Super Decisions, разработанный Т. Саати. Проведен анализ 9 групп рисков по трем стратегиям: принятие, перенос и уменьшение риска. Результаты исследования показывают, что Украина будет следовать мировым тенденциям развития энергетической отрасли.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, прогнозирование, приоритетные технологии энергообеспечения, оценка рисков

Характерной особенностью современной энергетики Украины является постепенное движение в направлении развития экологически чистой энергетики на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. К основным нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, которые считаются перспективными для Украины на ближайшее будущее, относятся: биомасса, солнечная, геотермальная, ветровая энергия, а также энергия малых водотоков. Кроме того, целесообразным считается вносить в вышеуказанный перечень и нетрадиционные внебалансовые энергетические ресурсы, нетрадиционный газ, потенциальные возможности энергосбережения путем использования специальной техники (утилизации ВЭР, использование тепловых насосов и др.) [4].

Прогнозирование показателей энергопотребления, генерации возобновляемыми источниками энергии и стоимости полученной энергии.

Прогнозирование в энергетике является одной из задач энергетического мониторинга эффективности энергопотребления, финансового планирования, управления и оптимизации объемов производства энергии и контроля. Также это основная составляющая для формулирования стратегий и энергетических законов.

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений исследования и прогнозирования одномерных временных рядов являются адаптивные методы. Важнейшим достоинством адаптивных методов является построение самокорректирующихся моделей, способных учитывать результат прогноза, сделанного на предыдущем шаге [3].

Модель Хольта-Винтерса или тройное экспоненциальное сглаживание применяется для процессов, которые имеют тренд и сезонную составляющую. Метод Хольта-Винтерса основан на том, что исследуемый временной ряд может быть представлен в виде трех компонент: базовой компоненты, линии тренда и сезонного эффекта. Алгоритм предполагает, что каждая из этих компонент изменяется во времени. К изменяющимся значениям каждой из компонент применяется экспоненциальное сглаживание.

Как и в методе экспоненциального сглаживания, прогноз на следующий период вычисляется применением к текущему значению прогноза коэффициентов α , β , γ . Данные коэффициенты определяются параметрами модели и могут принимать значения в пределах от 0 до 1. При более высоких значениях коэффициентов прошлые значения компоненты учитываются в большей степени, чем текущие, а при более низких наибольшее влияние на прогноз оказывают текущие значения компонент.

Прогноз есть сумма всех трех компонент:

$$\hat{y}_{t+1} = a_1 + b_1 + c_{t+1-m} \quad (1)$$

где a_t - базовая компонента, b_t - линия тренда, c_t - сезонный эффект, m - период сезона.

Новая оценка базовой компоненты есть ее текущее значение, скорректированное с учетом значения сезонного коэффициента. Так как новое значение базовой компоненты зависит от изменений линии тренда, прогноз тренда прибавляется к коэффициенту базовой линии:

$$a_1 = \alpha(y_1 - c_{t-m}) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

Новая оценка тренда есть разность между новым и старым значением базовой компоненты:

$$b_1 = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

Новая оценка сезонного компонента есть разность между его текущим значением и соответствующей базовой компонентой:

$$c_1 = \gamma(y_t - a_t) + (1 - \gamma)c_{t-m} \quad (4)$$

Формулы (2)–(4) используются только для получения текущих значений компонент на один временной интервал, так как эти сохраненные значения пересчитываются в каждой итерации.

Прогноз по методу Хольта-Винтерса на p периодов вперед равен:

$$\hat{y}_{t+p} = (a_{t+p} \cdot b_t) \cdot c_{t+p-m} \quad (5)$$

где, \hat{y}_{t+p} - прогноз по методу Хольта-Винтерса на p периодов вперед, a_t - базовая компонента (экспоненциально сглаженная величина за последний период), p - порядковый номер периода, на который делается прогноз, b_t - тренд за последний период, c_{t+p-m} - коэффициент сезонности за этот же период в последнем сезоне [1].

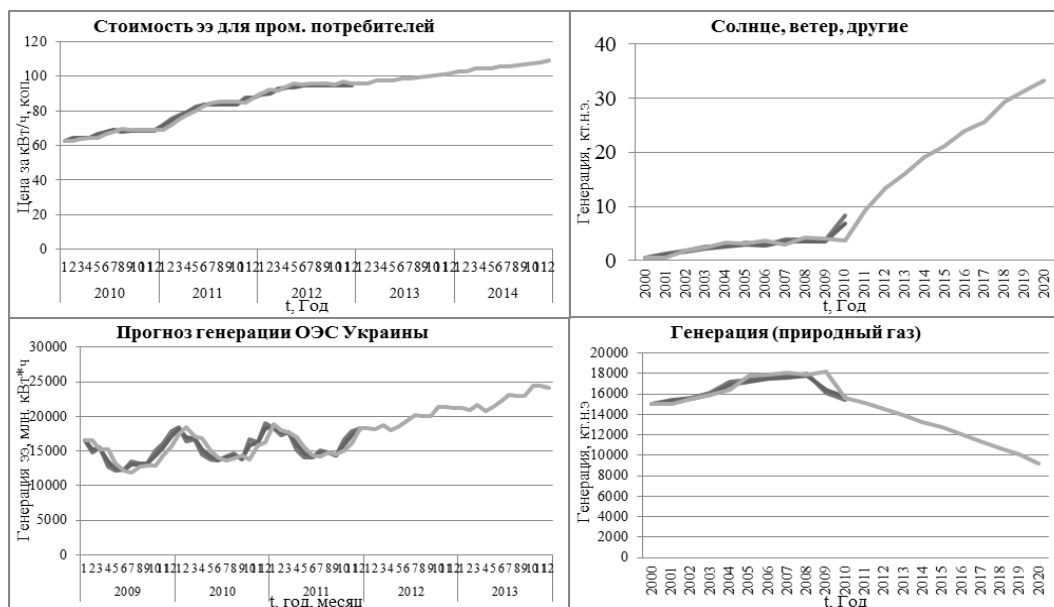


Рис. 1. Результаты прогнозирования показателей генерации возобновляемыми и традиционными источниками энергии по методу Хольта-Винтерса

Результаты исследования подтверждают мировые тенденции развития энергетической отрасли: увеличение потребления первичной и вторичной энергии, рост генерации из возобновляемых и

нетрадиционных источников энергии, сокращение использования ископаемых видов энергии, а также рост стоимости энергии.

Выбор приоритетных технологий энергообеспечения регионов Украины

Чистая возобновляемая энергия – это ключевая стратегия развития энергетического сектора в будущем. Использование ВИЭ может решить вопросы, связанные с глобальными экологическими проблемами, зависимостью от импорта ископаемого топлива, уязвимостью энергетического сектора и т.д.

Выбор среди множества альтернатив развития и использования возобновляемых источников энергии, где необходимо учитывать не только экологические аспекты, но и экономические, технические и социальные критерии, требуют использования сложных техник принятия решения. Многочисленность критериев, а также комплексность энергетического планирования и проектов делает многокритериальный анализ ценным инструментом для процесса принятия решений.

Метод анализа иерархий (МАИ) позволяет с помощью простых и хорошо обоснованных правил найти решение многокритериальных задач, включающих качественные и количественные факторы, причем, количественные факторы могут иметь разную размерность.

Метод основан на декомпозиции задачи и представлении ее в виде иерархической структуры, что позволяет включить в иерархию все имеющиеся у ЛПР знания по решаемой проблеме и последующей обработке суждений лиц, принимающих решения. В результате может быть выявлена относительная степень взаимодействия элементов в иерархии, которые затем выражаются численно. Метод анализа иерархий включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений [6,7,8].

Схематически процесс выбора приоритетных технологий энергообеспечения можно представить в виде доминантной иерархии (рис.2).

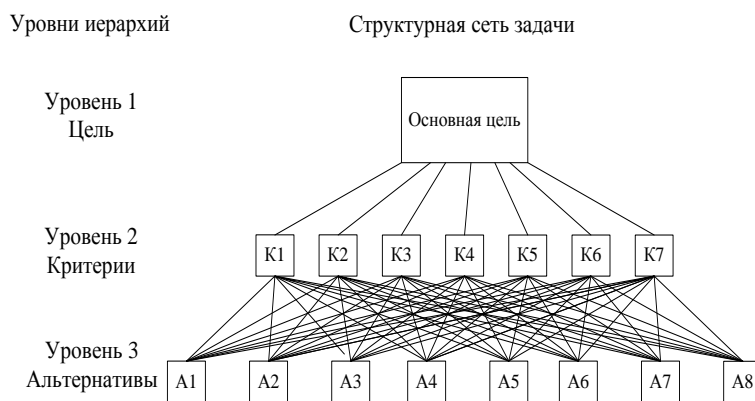


Рис. 2. Структурная сеть задачи

В ходе анализа базы данных существующих эффективных технологий определены следующие критерии и альтернативы. Критерии, по которым оцениваются технологии: K1 - мощность, которую производит установка, [кВт]; K2 - потенциал возобновляемого источника энергии для определенной технологии на выбранной территории, [млн. т у.т.]; K3 - уровень эффективности установки, [%]; K4 - уровень выбросов при работе установки, [кг / МВт * ч]; K5 - капитальные и первоначальные затраты (стоимость 1 кВт установленной мощности), [€/кВт]; K6 - эксплуатационные расходы, при работе установки, [€ / МВт * ч]; K7 - стоимость производства электрической и / или тепловой энергии при работе установки, стоимость по «Зеленому» тарифу [€ / МВт].

Рассмотрено 8 технологий, работающих на ВИЭ для производства тепловой и / или электрической энергии: A1 - фото-электрические установки; A2 - ветровые турбины; A3 - установки на биомассе; A4 - микро / малые гидроэлектрические установки; A5 - геотермальные системы; A6 - промышленные турбины (доменный газ); A7 - микротурбины (энергия сточных вод); A8 - тепловые насосы (низкопотенциальная теплота грунта).

По результатам работы разработаны атласы рекомендованных технологий для 24 областей и АР Крым, для 8 энергосистем Украины, а также для страны в целом. Рассмотрим Атлас на примере Автономной Республики Крым (рис.3).

Благодаря удачному географическому положению АР Крым имеет благоприятные условия для внедрения технологий распределенной генерации с комплексным применением возобновляемых источников энергии. Потенциал возобновляемых и нетрадиционных источников энергии приведен в таблице 1 (рис.3). Высокий потенциал имеют энергия солнца, ветра, биомассы и геотермальная энергия.

Годовое потребление энергоресурсов на обеспечение потребностей в электрической и тепловой энергии составляет 4,23 т у.т. Из диаграммы 1 (рис.3) видно, что потенциал возобновляемых источников не только перекрывает энергетические потребности полуострова, но и может быть использован для обеспечения энергетических потребностей соседних с Крымом регионов страны. Потенциал экспорта энергоносителей составляет 82,98% от общего потребления энергоресурсов Крыма. Наибольший потенциал приходится на энергию ветра (111,11%).

Расчет приоритетов технологий генерации проведено с использованием экспертных оценок и метода анализа иерархий (диаграмма 2). Технологии, значение приоритета которых выше предельного уровня (0,125), рекомендуется для первоочередного внедрения. Значение 0,125 определено из условия, что сумма приоритетов всех технологий составляет единицу, а первоначальная приоритетность внедрения одинакова. Исходя из этого, АР Крым для первоочередного внедрения, можно рекомендовать следующие по приоритету технологии генерации с применением возобновляемых и нетрадиционных источников с учетом «Зеленого» тарифа: 1. Ветровые турбины, 2. Фотоэлектрические установки, 3. Установки на биомассе, 4. Геотермальные системы.

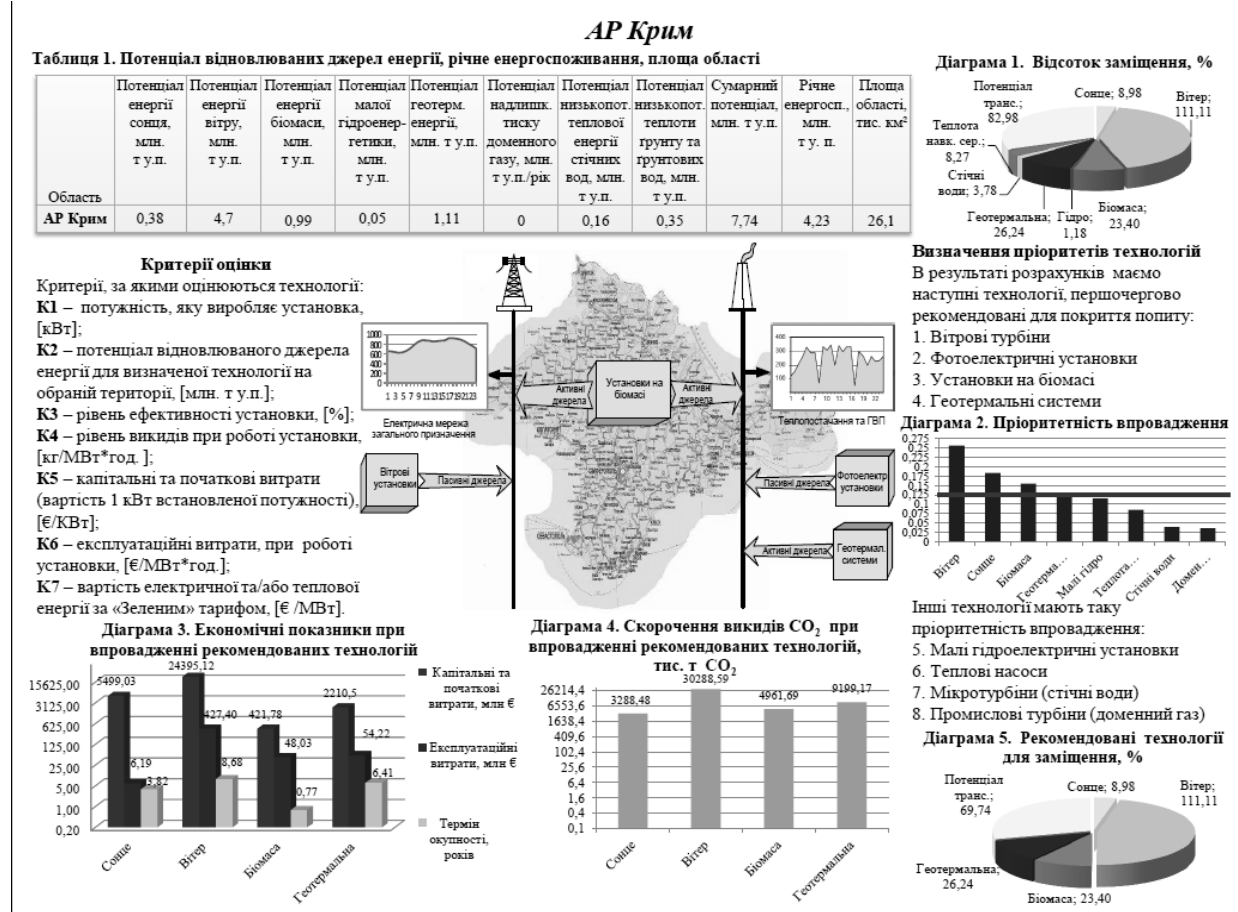


Рис. 3. Атлас приоритетных технологий производства электрической/тепловой энергии по усредненным данным для АР Крым из возобновляемых и нетрадиционных источников энергии с учетом «Зеленого» тарифа

Общие инвестиционные и эксплуатационные расходы, а также срок окупаемости при внедрении этих технологий, при использовании полного технически достижимого потенциала источников возобновляемой энергии приведены на диаграмме 3, рис. 3.

Сокращение выбросов CO₂ является одним из требований на пути к устойчивой энергетике. Использование технологий с низкими или нулевыми выбросами парниковых газов позволит в будущем не только сохранить окружающую среду, а также продавать квоты на выбросы. При внедрении рекомендованных технологий генерации Крым может сократить выбросы на 47737,93 тыс. т CO₂. Ветровые турбины имеют наибольший потенциал сокращения - 30288,59 тыс. т CO₂ (диаграмма 4, рис.3) благодаря замещению 111,11% потребления органического топлива и нулевым выбросам парниковых газов при производстве электроэнергии. При внедрении рекомендованных технологий имеем полное

замещение потребления органического топлива ВИЭ и потенциал транспортировки в соседние регионы - 69,74% (диаграмма 5, рис.3).

Оценка рисков генерации энергии возобновляемыми и нетрадиционными источниками

Риски и неопределенности возникают во всех проектах связанных с энергетикой, особые сложности имеют проекты возобновляемой и нетрадиционной энергетики. Риски имеют сильное влияние на каждой стадии проекта – начиная с концепции проекта, технико-экономического обоснования, проектирования и планирования, проведения торгов и тендеров, строительстве и на этапе функционирования.

В процессе оценки рисков и анализа решений широко используется метод анализа сетей (MAC) [5] для оценки ключевых факторов риска и анализа последствий выбранных альтернативных решений. Также MAC позволяет внедрять различные факторы и критерии – материальные и нематериальные – которые характеризуют оценку рисков. В методе анализа сетей не накладываются ограничения на виды зависимостей между элементами модели. Ключевым понятием в рамках данного метода является влияние, т.е. воздействие одного элемента на другой [9].

MAC представляет собой универсальную теорию измерений влияния в шкале отношений с учетом зависимостей и обратных связей. Сеть представляет собой набор компонентов, которые являются аналогами уровней в иерархии. Компоненты, связанные направленными дугами, могут располагаться в произвольном порядке. В процессе парных сравнений объектов в одном компоненте выявляется доминирование влияния элементов пары на третий элемент, принадлежащий этому или другому компоненту. Кроме того, в сетевых задачах компоненты могут рассматриваться как взаимодействующие объекты, которые влияют друг на друга относительно некоторого критерия или свойства более высокого порядка. Критериями для проведения сравнений являются либо элементы уровней, либо неявно сформулированная главная цель. При сравнении элементов в сетях задается вопрос: какой из двух объектов сильнее влияет на некоторый третий объект в смысле управляющего критерия[5]?

В методе аналитических сетей выделяются две части. Первая – это выбор управляющих критериев с построением управляющих иерархий и сетей. Вторая – построение сетей взаимного влияния элементов и кластеров. Для каждого управляющего критерия строится своя сеть. Формирование кластеров, элементов и связей осуществляется экспертами и ЛПР в рамках конкретной предметной области.

На рисунке 4 представлена схема сетевой задачи, которая показывает связи (влияние) между группами рисков и альтернативами. Стрелка от одного кластера к другому показывает, что все или некоторые элементы первого кластера влияют на все или некоторые элементы второго кластера. Круговые циклы соответствуют взаимному влиянию между элементами одного кластера.

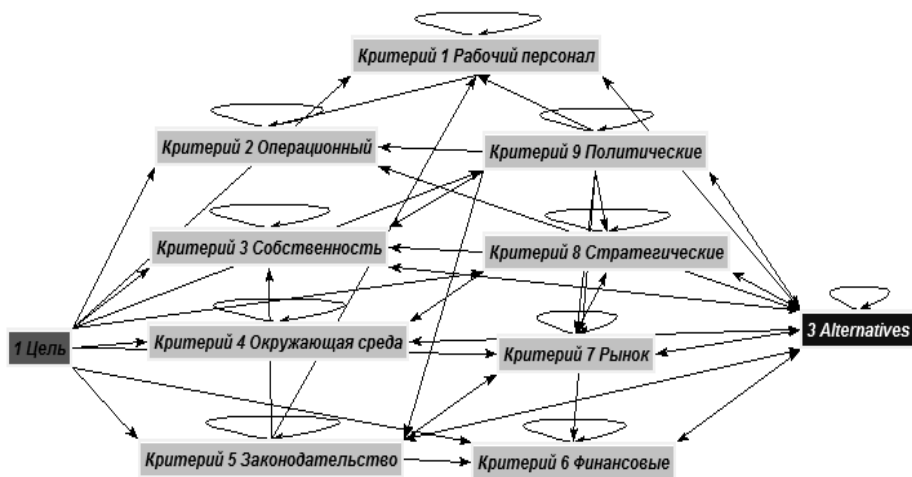


Рис.4. Схема сетевой задачи анализа рисков возобновляемой энергетики

В данной работе риски разделены на 9 групп или кластеров: рабочий персонал, операционные, собственность, окружающая среда, законодательство, финансовые, рынок, стратегические и политические риски. Каждая группа имеет собственную подгруппу. Они оцениваются по возможности использования одной из трех стратегий – уменьшение риска, перенос риска и принятие риска. Метод позволяет определить, какая из стратегий является приоритетной в общем процессе оценки рисков. А также, какая стратегия наиболее приемлема для группы и отдельных рисков.

Программное обеспечение для MAC (Super Decisions), разработанное Розан Саати и Уильямом Адамсом используется для принятия решений в системах с зависимостью и обратной связью и выполняет необходимые вычисления автоматически, освобождая пользователя от трудоемкого анализа различных случаев.

Результаты расчетов изображены на рисунке 5.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
1 Уменьшение риска		1.000000	0.498672	0.163467
2 Перенос рисков		0.291318	0.145272	0.047621
3 Принятие риска		0.714009	0.356056	0.116717

Рис. 5. Ключевые результаты оценки альтернатив

Ключевые результаты проведенных попарных сравнений, показывают, что альтернатива, имеющая наивысшую оценку 0,499 – это уменьшение рисков. Возможность уменьшения последствий возникновения рисков, относящихся к данной альтернативе является наиболее приоритетной для ЛПР. Риски, вероятность возникновения которых невозможно ни уменьшить ни делегировать, находятся на втором месте (приоритет 0,356). Риски, которые могут быть перенесены или делегированы другим ответственным лицам имеют наименьшее значение 0,145 (рис.5).

На рис. 6 изображено соответствие альтернатив группам риска. Как видно из диаграммы, риски связанные с рабочим персоналом, возможно уменьшить (0,453), например нанимая на работу квалифицированный персонал или улучшая безопасность сотрудников. Но также существуют риски, которые должны быть приняты (0,428) такие как забастовки и потеря поставщиков. Шесть рисков, такие как , рабочий персонал (0,453), операционный (0,573), собственность (0,602), окружающая среда (0,664), рынок (0,740) и стратегические (0,707) имеют больший потенциал для уменьшения по сравнению с другими альтернатива.

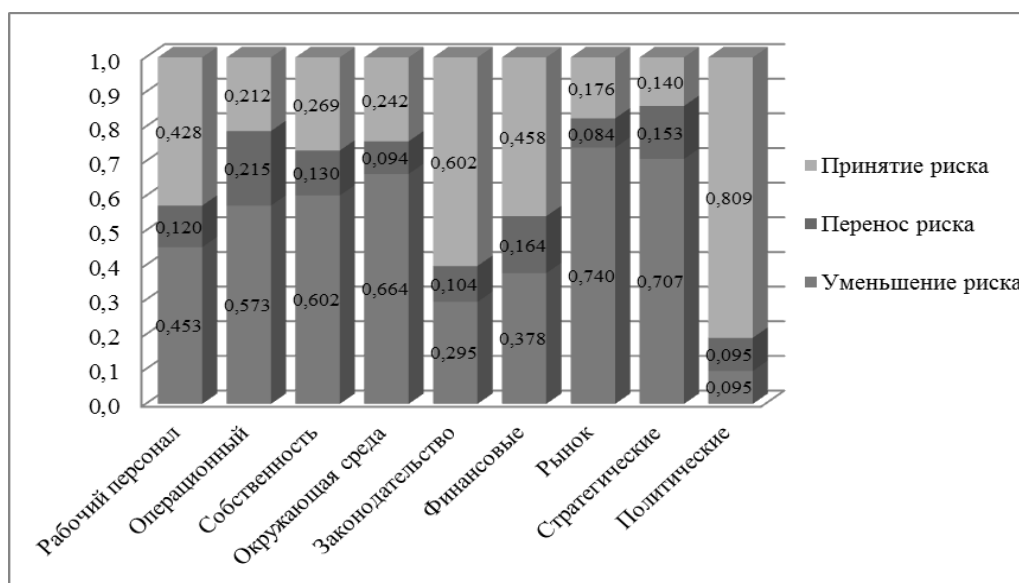


Рис. 6. Результаты расчетов: соответствие альтернатив группам риска

Выводы

Использование возобновляемых источников энергии для производства электрической и тепловой энергии открывает новые возможности, как для защиты окружающей среды, так и для сбережения традиционных ресурсов и энергетической безопасности страны. Исходя из результатов работы, Украина следует мировым тенденциям сокращения потребления традиционных ресурсов, увеличения стоимости первичной и вторичной энергии, а также развития ВИЭ. В том числе страна имеет громадный потенциал

для развития возобновляемой энергетики. Анализ рисков также показал, что 6 из 9 групп могут быть уменьшены и только на 3 группы риска ЛПП не имеет влияния.

Литература

1. Исхаков С.Ю., «Прогнозирование в системе мониторинга локальных сетей» / Исхаков С.Ю., Шелупанов А.А., Тимченко С.В. Доклады ТУСУРа, № 1 (25), часть 2, 2012
2. Кудря С.О. «Атлас энергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України» / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, - К., 2001, 41с.
3. Лукашин Ю.П. «Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов». М.: "Финансы и статистика", 2003.-416 с: ил.
4. Праховник А.В. «Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения». К.: Освіта Україна, 2007. – 464с., ил.
5. Саати Т. Л. «Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети»; пер. с англ. О. Н. Андрейчикова. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
6. Саати Т. Л. «Метод анализа иерархий» McGraw-Hill, Нью-Йорк, 1980.
7. Саати Т. Л., «Теория метода анализа иерархий, часть 2.1», System Research & Information Technologies, No. 1, 2003.
8. Саати Т. Л., «Теория метода анализа иерархий и метода анализа сетей – примеры, Часть 2.2», System Research & Information Technologies, No. 2, 2003.
9. Д. Эргу, Г. Коу, Я. Ши. Метод анализа сетей в оценке рисков и анализе решений. Компьютеры и исследование операций. Китай, март 2011.

M.T. KOKORINA

ASSESSMENT AND PLANNING OF THE REGIONS' ENERGY SUPPLY OPTIMAL VARIANTS, BASED ON LOW AND ZERO CO₂ EMISSION TECHNOLOGIES

The aim of this work is to increase the amount of energy generated by renewable and non-conventional energy sources in Ukraine. Planning of the regions' energy supply consists of the following stages: forecasting energy indicators, selection of the priority energy generation technologies and risk assessment of the energy production by renewable and non-conventional sources. Application of adaptive forecasting models, in particular the Holt-Winters method for predicting the energy and financial indicators done. Choice of the priority energy generation technologies made by using Analytic Hierarchy Process. This article provides a classification of risks that may occur in renewable energy. Risk analysis made by using the Analytic Network Process (ANP) and corresponding software Super Decisions, developed by T. Saaty. The risk assessment made by using the following strategies: to reduce risks, to transfer risks, and to undertake risks. Results of the research indicate that Ukraine will follow global trends of the energy sector development.

Key words: renewable energy sources, forecasting, priority energy supply technologies, risk assessment

References

1. Iskhakov S.Y., Shelupanov A.A., Timchenko S.V. Forecasting in the system of LAN monitoring. Reports of TUSUR, № 1 (25), Part 2, June 2012. - P. 101-104 (RUS).
2. Kudrya S.A. «Atlas of energy potential of renewable and unconventional energy sources of Ukraine» / Kudrya S.A., Yacenko L.V., Dushina G.P. and others. – NAS of Ukraine, State Commette of Ukraine on Energy Saving, - K., 2001, 41p.
3. Lukashin Y. Adaptive methods of near-term time series forecasting. – M: Finance and statistics, 2003.- 416 p.
4. Prakhovnik A.V. «Distributed generation in the energy supply systems». K.: Osvita Ukraine, 2007. – 464 p.
5. T. L. Saaty «Decision making with dependence and feedback. The analytic network». - S.l., 2001. — 370 p.
6. T. L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process,” McGraw-Hill, New York, 1980.
7. T. L. Saaty, “Theory of the Analytic Hierarchy Process, Part 2.1,” System Research & Information Technologies, No. 1, 2003.
8. T. L. Saaty, “Theory of the Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes—Examples, Part 2.2,” System Research & Information Technologies, No. 2, 2003.
9. D Ergu, G. Kou, Y. Shi, Analytic network process in risk assessment and decision analysis. Computers & Operations Research. Pergamon, march 2011.

**ОЦІНКА ТА ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РЕГІОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ З НИЗКИМИ ТА НУЛЬОВИМИ
ВИКИДАМИ CO₂**

Метою даної роботи є підвищення обсягів генерації енергії відновлюваними і нетрадиційними джерелами енергії України. Планування енергозабезпечення регіонів України складається з наступних етапів: прогнозування енергетичних показників, вибір пріоритетних технологій генерації та оцінка ризиків генерації відновлюваними та нетрадиційними джерелами енергії. Обґрунтовано застосування адаптивних моделей прогнозування, зокрема методу Хольта-Вінтерса для прогнозування енергетичних і фінансових показників. Вибір пріоритетних технологій здійснюється за допомогою Методу Аналізу Ієрархій. У роботі також наведено класифікацію ризиків, які можуть виникнути в процесі роботи підприємств енергетичної галузі. Для аналізу використано Метод Аналізу Мереж і відповідне програмне забезпечення Super Decisions, розроблені Т. Сааті. Проведено аналіз 9 груп ризиків за трьома стратегіям: прийняття, перенесення і зменшення ризику. Результати дослідження показують, що Україна буде слідувати світовим тенденціям розвитку енергетичної галузі.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, прогнозування, пріоритетні технології енергозабезпечення, оцінка ризиків