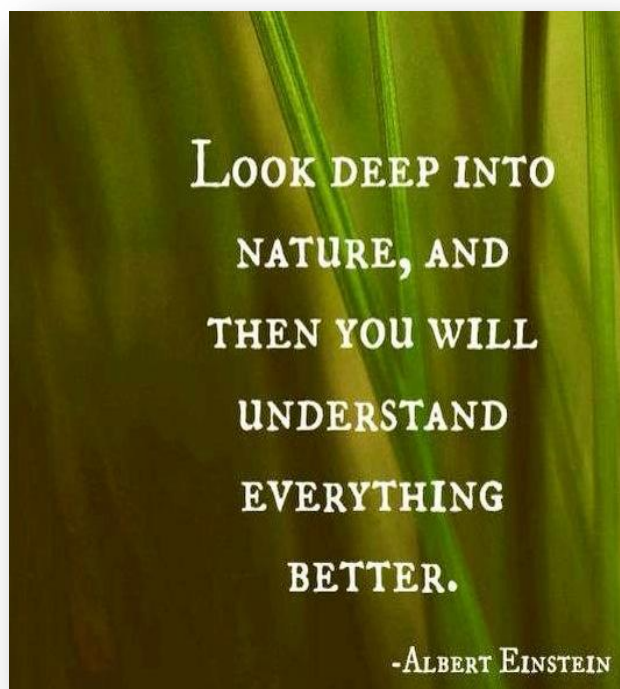


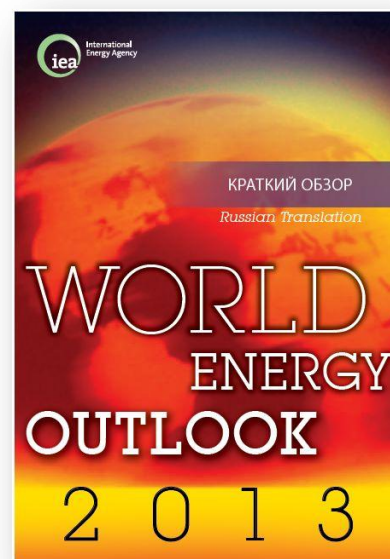
*Методика и программные средства оценки экономической эффективности  
возобновляемых источников энергии на основе инструментов экономического  
планирования МАГАТЭ*



Необходимость борьбы за лучшую экологию, поиск новых возможностей повышения качества жизни людей, участие в мировом развитии технологий, стремление повысить энергоэффективность экономического развития, потребность в международном сотрудничестве – эти соображения способствуют активизации усилий по созданию более зеленой энергетики, движению к низкоуглеродной экономике.

Согласно отчету Международного энергетического агентства, вышедшего 12 ноября 2013 г:

- ВИЭ становятся все более экономически конкурентоспособными.
- На ВИЭ придется почти половина роста мирового производства электроэнергии к 2035 г., а 45% этого роста составит использование ветровой и солнечной энергии. Китай увеличит производство электроэнергии из возобновляемых источников больше всех, в том числе больше Европейского Союза, США и Японии вместе взятых.





- В некоторых регионах увеличение доли возобновляемых источников энергии поставит под вопрос существующую структуру рынка электроэнергии и его способность привлекать необходимые инвестиции и гарантировать надежность поставок. С ростом производства электроэнергии из возобновляемых источников их доля составит более 30% суммарного производства электроэнергии.

В настоящее время растет осознание того, что задача оптимизации структуры энергетики, использующей возобновляемые источники энергии, является многокритериальной. При этом критерии, характеризующие технологические особенности и экономику, носят конфликтующий характер. Последнее означает, что улучшение значения одного критерия приводит к ухудшению значений других критериев.

Решение задачи оптимизации структуры энергетики в многокритериальной постановке позволяет осуществить поиск компромиссов между конфликтующими системными факторами и выявить согласованные стратегии развития, провести с использованием единого расчетного инструментария сравнительный многокритериальный анализ вариантов развития энергетики, использующей ВИЭ, с учетом неравновесной динамики развития, особенностей структуры и наиболее значимых системных ограничений.

## Программа проекта

### А) Актуальность



Разработка сбалансированной стратегии развития энергетики, которая учитывала бы все достоинства и недостатки возобновляемых источников энергии, является многокритериальной задачей оптимизации, для решения которой используются различные программные средства. Поскольку при разработке данного рода программных систем представляется целесообразным основываться на современных пакетах энергетического планирования, то в качестве базовых инструментальных средств были использованы компоненты получившей в последнее время широкое распространение оптимизационной среды энергетического планирования МАГАТЭ – MESSAGE.

В настоящее время заметна тенденция к повышению конкурентоспособности зеленых технологий, поэтому их вклад в общую структуру энергетики будет все более заметен, что нельзя не учитывать при разработке сценариев будущего развития.

### Б) Описание проблемы, необходимость её решения

Для принятия обоснованных решений относительно эффективности той или иной технологии, для выявления вариантов действий, которые приведут к устойчивому развитию необходимо строить прогнозы.

Трудность решения задач экономического планирования заключается в необходимости учитывать множество критериев, которые могут быть конфликтующими, а также неопределенность входных данных.



## В) Цель проекта

Целью энергетического планирования является обеспечение того, чтобы в принятии решений относительно инфраструктур спроса на энергию и энергоснабжения принимали участие все заинтересованные стороны, были рассмотрены все возможные варианты энергоснабжения и спроса и чтобы они были совместимы с общими целями национального устойчивого развития. Концепция устойчивого развития охватывает три взаимозависимых и взаимно укрепляющих основополагающих направления деятельности: социальное развитие, экономическое развитие и охрана окружающей среды, связь между которыми обеспечивается эффективными правительственными учреждениями. Цель проекта – показать, что технологии, использующие возобновляемые источники энергии, имеют множество преимуществ перед технологиями, использующими традиционные источники энергии. При комплексном подходе к оценке этих преимуществ и учету недостатков можно проанализировать их роль в структуре энергетики будущего.

## Г) Задачи проекта

Одна из задач проекта – обосновать целесообразность внедрения и перспективность зеленых технологий, разрабатывая с помощью среды энергетического планирования MESSAGE стратегии развития энергетики.

При построении оценок экономической эффективности технологий, использующих возобновляемые источники энергии, могут быть определены критически важные политические и инвестиционные аспекты различных энергетических стратегий, выявлены нежелательные последствия и определен наиболее экономически эффективный подход к удовлетворению будущих энергетических потребностей.

## Д) Объект и предмет проекта

Для разработки оптимальных стратегий развития энергетики и построения оценок эффективности используется программный комплекс MESSAGE. Модульная

структура комплекса позволяет внедрять в него дополнительные возможности. Разработка модулей, учитывающих неопределенность входных данных и многокритериальность задачи оптимизации, существенно расширяет спектр решаемых задач.

#### Е) Интерпретация понятий

MESSAGE – Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts;

Оптимальный план (стратегия) — наилучший с точки зрения выбранного критерия вариант развития экономики в целом или отдельного хозяйственного объекта.

Многокритериальная оптимизация — это процесс одновременной оптимизации двух или более конфликтующих целевых функций в заданной области определения.

#### Описание проекта

К настоящему моменту разработан широкий спектр методов решения задач многокритериальной оптимизации. Один из способов классификации данных методов основан на способах использования информации о предпочтениях лица, принимающего решения (ЛПР). В соответствии с этой классификацией выделяются априорные, апостериорные, адаптивные и интерактивные классы методов.

В основе большинства современных методов принятия решений при многих критериях лежит понятие множества неулучшаемых (недоминируемых, эффективных, паретовских, парето-оптимальных) решений – множество Парето. ЛПР при поддержке экспертов, в конечном счете, должен выбрать решение, принадлежащее этому множеству. При этом ЛПР выбирает компромиссное решение на фронте Парето не формальными методами, несмотря на то, что они

также могут быть эффективно использованы, а руководствуясь своими предпочтениями.

В этой связи для разработки систем поддержки принимаемых решений получают все большую популярность методы, основанные именно на предварительном построении аппроксимации множества Парето. Следует отметить, что построение множества Парето представляет собой самостоятельную задачу, сложную с вычислительной точки зрения, что является основным недостатком методов этого класса, сдерживающим их широкое применение.

Несмотря на то, что в среде MESSAGE предусмотрена возможность проведения многокритериальной оптимизации на основе метода опорных траекторий («reference trajectory method»), представляющего собой разновидность подхода целевого программирования, данная возможность не реализована в должной мере. Более того, в существующем виде этот метод не позволяет осуществить репрезентативную аппроксимацию множества эффективных решений, лежащую в основе интерактивных подходов к поддержке принятия решений при многих критериях. Также необходимо отметить, что форма ввода данных в модель не позволяет эффективно реализовать как традиционные, так и современные методы многокритериальной оптимизации и учесть неопределенность в исходной информации, принятие во внимание которой необходимо для повышения степени обоснованности делаемых на основе расчетов суждений.

В рамках работы по разработке многокритериальных оптимизационных программных систем для системно-аналитических и прогнозных исследований в области энергетики апробированы и реализованы в виде вычислительных модулей для среды MESSAGE методы выделения эффективных решений посредством однокритериальной оптимизации (методы линейной свертки критериев и критериальных ограничений) и метод достижимых целей, представляющий собой интерактивный метод поддержки многокритериального выбора. Модуль ConCriM реализует метод критериальных ограничений.

Поскольку достижение оптимального значения нескольких показателей одновременно, как правило, неосуществимо, то в качестве выхода из такого рода затруднений предлагается реализация требования поддерживать ряд показателей на уровне не ниже приемлемого, а выбранный показатель устремить к своему экстремальному значению. Выбирая различные варианты показателей, приходят к взаимным постановкам оптимизационных задач, которые обладают одинаковыми множествами оптимальных решений при всевозможных значениях ограничивающих уровней.

В то же время в реальных задачах ЛПР не может априорно задать численные величины ограничивающих уровней для всего спектра показателей эффективности. Выходом из данной ситуации является требование искать решения, неуклучшаемые ни по одному из критериев без ухудшения хотя бы одного из остальных. Необходимо отметить, что улучшаемые (доминируемые, неэффективные) точки расположены внутри множества достижимости. Из этих точек можно смещаться, оставаясь в пределах множества достижимости, в другие точки, лучшие хотя бы по одному критерию и не проигрывающие при этом данной точке по другому критерию. Напротив, любое улучшающее смещение из неуклучшаемых точек выводит за пределы множества достижимости.

Одним из подходов поиска эффективных решений является метод критериальных ограничений, представляющий собой универсальный метод, справедливый как для задач с выпуклыми, так и невыпуклыми множествами достижимости.

Основная идея метода заключается в том, что значения всех критериев, кроме одного, ограничиваются, а единственный выделенный критерий минимизируется:

$$\min_{x \in X} f_1(x), \text{ где } \tilde{X}(c_2, \dots, c_m) = \{x \in X : c_2 \geq f_2(x), \dots, c_m \geq f_m(x)\}, c_2, \dots, c_m = \text{const} \in R$$

Ограничивающие уровни являются параметрами задачи. Придавая им всевозможные значения из диапазонов от абсолютного минимума до абсолютного максимума соответствующего показателя на исходном множестве допустимости, можно получить все эффективные решения.



Для реализации метода критериальных ограничений в среде MESSAGE необходимо иметь возможность вводить информацию в модель развивающейся энергетики о совокупности дополнительных ограничений и соответствующих ограничивающих уровнях. Совокупность специфических ограничений, связывающих воедино различные величины, характеризующие технологии, использующие ВИЭ, в различные временные моменты, оказывается не всегда возможным внести непосредственно из среды MESSAGE из-за первоначальной ориентированности MESSAGE под описание систем традиционной энергетики. Также трудоемкой при работе через среду является процедура генерации набора сценариев, отличающихся значениями ограничивающих уровней.

Для решения данной проблемы был разработан специализированный модуль ConCriM (Constraints of Criteria Method), позволяющий внести необходимые изменения в исходную модель и создать на ее основе набор сценариев, что обеспечивает возможность реализации метода критериальных ограничений. Для осуществления данной процедуры требуется обработка файла формата MPS, который генерируется компонентной mxg среды MESSAGE для исходной расчетной модели ЯТЦ. Сформированный MPS-файл представляет собой стандартизированную форму записи задачи линейного программирования, поступающий в блок оптимизации (компонента opt среды MESSAGE). В соответствии с поставленной задачей пользователь ConCriM имеет возможность осуществить корректировку данного файла, записав в нем набор дополнительных ограничений.

Основные функциональные возможности модуля:

- внесение дополнительных ограничений;
- набор шаблонов типичных ограничений;
- автоматическое формирование набора матриц для решения параметрической задачи линейного программирования;
- различные способы генерации ограничивающих уровней;
- управление модулями MESSAGE.