

# МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИРОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОИСХОДЯЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Кулагин В.А., Грушевенко Д.А., Капустин Н.О., Яковлева Д.Д.

*Институт энергетических исследований РАН, Россия, г. Москва ул. Нагорная д.31 к.2  
vakulagin@ineiran.ru*

*Аннотация: В статье рассматриваются новые подходы к прогнозированию мировой электроэнергетики, потребность в которых обусловлена ускоренным развитием ВИЭ, совершенствованием технологий хранения электроэнергии, появлением новых возможностей локальной генерации и превращением значительного числа бывших потребителей из пассивных в активных участников рынка.*

Ключевые слова: МЕТОДОЛОГИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ВИЭ.

## **Введение**

Ключевой тенденцией последних лет в электроэнергетике стал рост конкурентоспособности генерации из возобновляемых источников энергии, стимулируемый активной энергетической политикой, направленной на декарбонизацию энергетического комплекса. Повышение конкурентоспособности ВИЭ, по сравнению с генерацией на ископаемых топливах, на фоне крупных дотационных программ привело к росту выработки электрической энергии на этом виде электростанций по всему миру.

Естественно, что столь значимые изменения в электроэнергетическом секторе не могут не найти отображения в модельно-информационных комплексах, предназначенных для прогнозирования развития мировой электроэнергетики.

В статье представлено описание подходов в рамках новой системы прогнозирования, задачей которой является постранивая оценка перспектив электроэнергетики.

## **1 Направления развития методологии прогнозирования мировой электроэнергетики**

Увеличение доли ВИЭ в структуре выработки электрической энергии на практике представляет собой не просто включение в энергетическую корзину сектора еще нескольких энергоносителей, а принципиальные изменения во всем характере функционирования электросистемы. Так, при прогнозировании энергосистемы в составе которой значительную долю выработки занимают НВИЭ, необходимо учитывать:

Особенности режимов выработки, в которых работают ВИЭ, т.е. тот факт, что солнечные и ветряные электростанции способны вырабатывать энергию только когда дует ветер и светит солнце, во всех остальных случаях мощности НВИЭ нуждаются в резервировании либо традиционной генерацией, либо посредством накопления энергии, выработанной в часы пиковой выработки

ИНЭИ РАН имеет большой опыт по анализу и прогнозированию тепло и электроэнергетики [1, 2, 3, 4]. Однако изменение условий функционирования электросистем бросает новый вызов и к развитию инструментария их оценки.

Модуль электроэнергетики предназначен для прогнозирования удовлетворения задаваемой из соседнего модуля прогнозирования спроса потребности в электроэнергии за счет различных доступных источников. Рынок электроэнергии характеризуется ограниченными межстрановыми перетоками в отличие от углеводородных рынков. Поэтому межстрановые поставки предполагается рассматривать отдельно в рамках оптимизационной модели, определяющей целесообразность перетоков по отдельным направлениям в рамках выполнения задачи минимизации общих системных затрат. Описываемый ниже инструментарий будет уже работать на основе четко определенных потребностей каждого узла в производстве электроэнергии с учетом как собственного спроса, так и межузловых перетоков, получаемых на оптимизационной транспортной модели.

Согласно методологии, задаваемый спрос детализируется для каждого узла по режимам работы энергосистемы на пик, полупик и нефик, а также по сезонам: лето, осень, весна, зима. Покрытие спроса в модели осуществляется всеми конкурирующими в сегменте генерации топливами, за исключением атомных станций и крупных гидростанций.

После вычета объемов электроэнергии, произведенной на АЭС и ГЭС, стоит задача удовлетворения остаточного спроса. Для этого рассматриваются следующие источники производства электроэнергии: газ, уголь, нефтепродукты, ветряная энергия (в декомпозиции на офшорные и наземные), солнечные (в том числе фотовольтаика и термальное солнце), биотопливо, геотермальные станции и др.

На первом этапе расчета в модуле по каждому виду топлива формируется динамика перспективного выбытия мощностей с учетом сроков ввода в ретроспективе, средних сроков эксплуатации, морального устаревания оборудования (когда затраты на эксплуатацию превышают полезный эффект).

Остающиеся не выбывшими мощности в каждый конкретный год вычитаются из объемов задаваемого извне спроса, таким образом, формируется прогнозный коридор непокрытого спроса на электроэнергию, который подлежит удовлетворению. Также возможен вариант методики, когда все мощности участвуют в оптимизации.

Далее осуществляется расчет обобщенного показателя стоимости, (используется показатель LCOE), для чего из соседних модулей передаются прогнозные значения цен на ископаемые топлива (газ, нефтепродукты, уголь), учитывается задаваемый сценарно прогресс в области технологий генерации и накопления. Для некоторых показателей LCOE является функцией, зависящей от количества часов загрузки в год.

В зависимости от рассматриваемого узла LCOE могут достаточно сильно различаться, что объясняется уровнем солнечной инсоляции, ветряной активностью, стоимостью ископаемых топлив. Поэтому требуется формирование баз данных, включающих показатели для каждой страны. Частично упростить задачу здесь можно за счет кластеризации и формирования групп стран со схожими показателями по отдельным источникам генерации.

Кроме стоимостных показателей при прогнозировании строительства мощностей вводятся дополнительные коэффициенты, отображающие, в частности, политические предпочтения по строительству определенного вида станций. Также учитывается стоимость выбросов CO<sub>2</sub>.

После заполнения всех исходных данных собранная информация поступает в оптимизационный блок, задача которого найти оптимальное экономическое решение удовлетворения спроса при целевой функции минимизации затрат на протяжении каждого расчетного года. В ходе оптимизации учитывается возможность использования накопителей для сглаживания нагрузки между временными режимами (см. рис. 2).

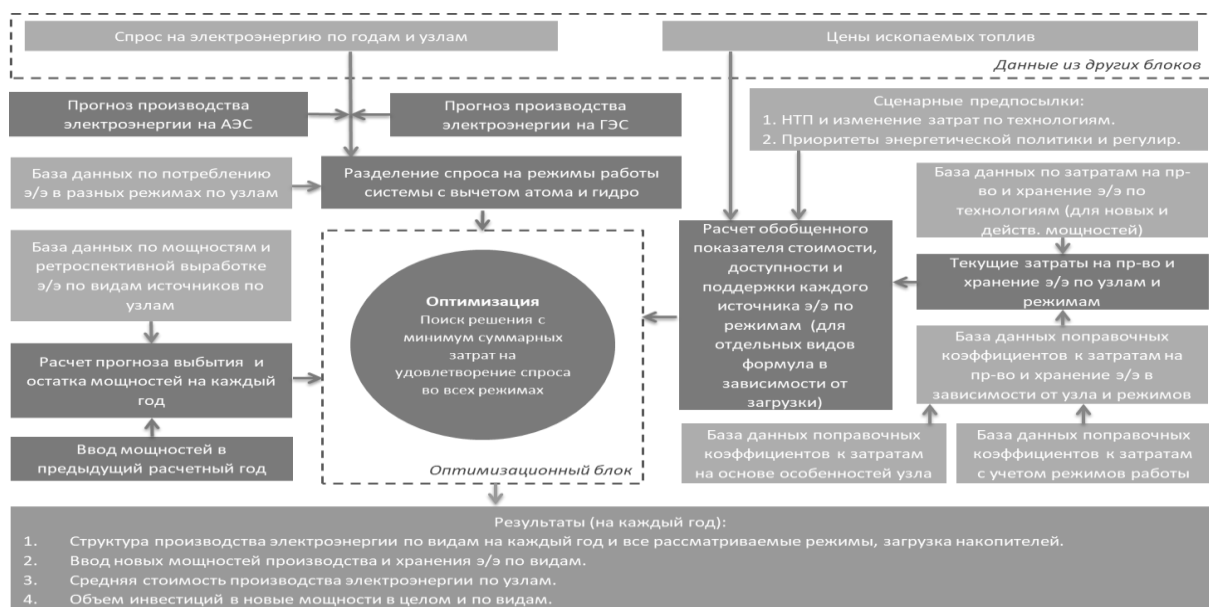


Рис. 2 - Схема функционирования модуля «Электроэнергетика».

## 2 Укрупненное описание алгоритма расчёта

По состоянию на момент написания статьи производится отладка методологии и инструментария, некоторые описываемые элементы методологии и алгоритма могут претерпевать изменения, однако общие принципы видятся адекватными для прогнозирования мировой электроэнергетики.

Согласно алгоритму расчета, на первом шаге в модель по каждому узлу передаются следующие входные параметры:

- Прогноз потребления электроэнергии в узле;
- Структура и параметры действующих мощностей;
- Ретроспективная структура производства по топливам;
- Объемы выработки на атоме;
- Объемы выработки на крупных гидроэлектростанциях.

Вывод текущих мощностей прогнозируется по следующей методике: Модель обращается к базам данных с целью определить имеется ли у нее по находящемуся в работе узлу информация по ретроспективному вводу и выводу мощностей, или есть только информация по выработке. В зависимости от результата или анализируются данные по мощностям, или по выработке и в итоге формируется прогнозная структура выработки.

В случае, если предполагается изначально закрепление за действующими мощностями части спроса и оптимизационное прогнозирование только по остатку, осуществляется расчет коэффициента выработки путем деления ретроспективной выработки на мощность. На основе полученной зависимости строится тренд и определяются значения этого тренда на каждый прогнозный год. Далее прогнозные значения коэффициента выработки умножаются на оставшиеся мощности в перспективный период. После этого прогнозируется остаток непокрытого спроса  $S_0$  путем вычитания из общего спроса на электроэнергию (с вычетом атома и ГЭС) полученной выработки по действующим мощностям.

Остаток непокрытого спроса (или весь спрос в случае оптимизации всех мощностей) передается в оптимизационный блок.

Оптимизационный блок

Расчеты в оптимизационном блоке ведутся на 1 год по 1 узлу. В целях минимизации ошибки заполнения прогнозных объемов выработки неэффективными мощностями определяется самая большая зона из 18 исследуемых. Максимальный спрос по самой большой зоне делится на  $N$  (например, 100), определяется шаг заполнения. Расчет ведется последовательным заполнением нагрузки каждой зоны – всего  $N$  просчетов. После выполнения каждого просчета составляется структура заполнения (в каждую зону добавляется выбранное топливо).

## Заключение

Описанная методология является одним из первых шагов к формированию новых подходов прогнозирования развития мировой электроэнергетики в условиях сильно возросшей межтопливной

конкуренции. Такой инструментарий призван дать ответ на вопросы определения рациональных экономически обоснованных долей различных источников в структуре производства электроэнергии. Причем эта структура неизбежно будет сильно отличаться по регионам и странам мира в зависимости от природных условий и доступности энергоресурсов.

### **Литература**

1. Макаров А.А., Митрова Т.А., Веселов Ф.В., Галкина А.А., Кулагин В.А. "Перспективы электроэнергетики в условиях трансформации мировых энергетических рынков" // "Теплоэнергетика", № 10, 2017.
2. Макаров А.А., Веселов Ф.В., Макарова А.С., Новикова Т.В., Панкрушина Т.Г. "Стратегические перспективы электроэнергетики России" // "Теплоэнергетика", № 11, 2017
3. Системные исследования в энергетике: методология и результаты // Под ред. А.А. Макарова и Н.И. Воропая. — М.: ИНЭИ, Издательский дом МЭИ, 2018. — 309 с. ISBN 978-5-383-01306-9
4. Ф.В. Веселов, Т.В. Новикова, А.В. Федосова Основы экономики электроэнергетики: Методические указания. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. – 80 с.