

Задача оптимизации обеспечения потребителей энергией с учетом «зеленых ограничений»

Task of Optimizing the Supply of Energy to Consumers, Taking into Account the «Green Constraints»

Р. РАМАЗАНОВ

Рамазанов Руслан Раисович, младший научный сотрудник лаборатории современных проблем региональной экономики Центра стратегических и междисциплинарных исследований Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук. E-mail: ruslan4729@mail.ru

В настоящей работе предлагается проект модели, позволяющей определять оптимальную представленность территориальных энергетических систем генерирующими объектами (электростанциями разного типа и/или мощности) с учетом экологических и экономических ограничений. В основе предлагаемой концептуализации лежит агент-ориентированный подход, представляющий моделируемую систему как совокупность потребителей и производителей энергии. В процессе реализации модели каждый потребитель осуществляет выбор генерирующего объекта исходя из критериев экологичности и экономичности. Итогом реализации становится оптимальная с точки зрения актуальных экономических и экологических ограничений «карта генерирующих объектов». Таким образом, с помощью модели можно будет ответить на вопрос, какие из существующих генерирующих объектов должны быть расформированы и где, и какие из перспективных объектов должны быть созданы.

Ключевые слова: зеленая экономика, зеленая энергетика, возобновляемые источники энергии, энергетическая система, имитационное моделирование.

In this paper, we propose a model for determining the optimal representation of territorial energy systems by generating facilities (power plants of different types and / or capacities), taking into account environmental and economic constraints. The proposed model is based on the agent-based approach, which represents the modeled system as a set of energy consumers and producers. In the process of implementing the model, each consumer chooses a generating facility based on the criteria of environmental friendliness and efficiency. The result of the implementation is the “map of generating facilities” that is optimal from the point of view of current economic and environmental restrictions. Thus, the model answers the question of which of the existing generating facilities should be disbanded and where and which of the promising facilities should be created.

Key words: green economy, green energy, renewable energy sources, energy system, simulation.

Введение

По данным Всемирной метеорологической организации, «последние семь лет стали самыми теплыми в истории метеонаблюдений. В 2020 году концентрация в атмосфере двуокиси углерода составила 149 %, метана – 262 %, закиси азота – 123 % от доиндустриальных уровней 1750 года. Средняя глобальная температура в 2021 году была на 1,09 °C выше средней температуры, наблюдавшейся в период с 1850 по 1900 гг. За последние 10 лет уровень моря в среднем повышался на 2,1 мм ежегодно [4]».

«Впервые в истории наблюдений на пике ледяного щита Гренландии пошел дождь. Канадские ледники подверглись быстрому таянию. Из-за волны тепла в Канаде и прилегающих районах США в одной из деревень Британской Колумбии температура достигла почти 50 °C. Во время одной из многочисленных волн тепла на юго-западе США в Долине Смерти, температура достигла 54,4 °C. В то же время рекордные температуры наблюдались и во многих районах Средиземноморья. Исключительная жара часто сопровождалась опустошительными пожарами» [4].

* Статья подготовлена в рамках выполнения плана НИР УФИЦ РАН по государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ.

Данные Всемирной метеорологической организации красноречиво демонстрируют, что глобальная экологическая повестка имеет под собой веские основания [6]. Зеленая ажитация находит свое отражения в национальных и международных целях и программах развития. Такой программой, в частности, является принятый в декабре 2019 года Европейской комиссией «Зеленый пакт», предполагающий, в том числе, защиту европейского экономического пространства от дешевой импортной продукции, производство которой осуществляется с использованием не самых передовых с точки зрения сохранения окружающей среды технологий [5; 7].

Таким образом, актуальность зеленого перехода для России и в особенности для ее регионов с преимущественным развитием нефтедобычи и нефтехимического комплекса [2], обуславливают не только экологические, но и экономические риски, связанные с ограничительными мерами торговых партнеров. Так, введение Европейским союзом карбонового налога будет чревато для отечественных экспортеров потерями от 2 до 6,5 млрд евро в год [1; 3].

Магистральным направлением зеленой трансформации является переход на возобновляемые источники энергии и отказ от эксплуатации традиционных генерирующих объектов в пользу современных природосберегающих. На сегодняшний день полному отказу от генерирующих объектов, функционирующих на основе ископаемых источников, препятствуют как финансовые, так и технологические ограничения. В этом отношении существуют основания говорить о возможности лишь частичного отказа от старых генерирующих объектов.

Отказ от генерирующих объектов предыдущих поколений (угольные, мазутные ТЭС/ТЭЦ) требует параллельного ввода в эксплуатацию генерирующих объектов нового типа (гидроэлектростанций, солнечных и ветровых ферм и т.д.). Понимание данной необходимости актуализирует задачу определения наиболее бесперспективных и наиболее востребованных с точки зрения современных экологических и экономических ограничений генерирующих объектов [8]. Таким образом, цель настоящего исследования состоит в разработке вспомогательного инструментария оптимизации территориальных энергосистем с учетом экономических и экологических ограничений.

Методология исследования

В качестве методологии исследования выбрано агент-ориентированное моделирование [1]. Агентный подход является одним из направлений имитационного моделирования. Специфика данного подхода состоит в ориентированности на репрезентацию сложных систем и процессов снизу-вверх, когда исследуемый объект разбивается на элементы, обладающие ограниченной функциональной и когнитивной автономностью. Каждому автономному элементу (агенту) присуща индивидуальная целевая функция, стремясь максимизировать которую, он вступает во взаимодействие с модельной средой и другими агентами, в результате чего рождается глобальная динамика и проявляются глобальные закономерности системы.

Результаты исследования

Предлагаемая в рамках настоящего исследования модель является инструментом определения оптимальной представленности территории страны генерирующими объектами старого и нового поколения при определенных экономических и экологических ограничениях. В качестве потребителей в модели выступают населенные пункты и крупные промышленные предприятия; в качестве генерирующих объектов – расположенные в той или иной точке модельного пространства электростанции разного типа и/или мощности.

Каждый потребитель в модели обладает индивидуальной целевой функцией, стремясь максимизировать которую, осуществляет выбор между источниками. Модель предполагает несколько раундов реализации. В конце каждого раунда объекты, не получившие достаточного количества «голосов», исключаются из избирательного списка. После отсева невостребованных объектов цикл повторяется. Отсев будет продолжаться до тех пор, пока совокупная стоимость возведения и поддержания функционирования оставшихся объектов не станет отвечать заданным ограничениям.

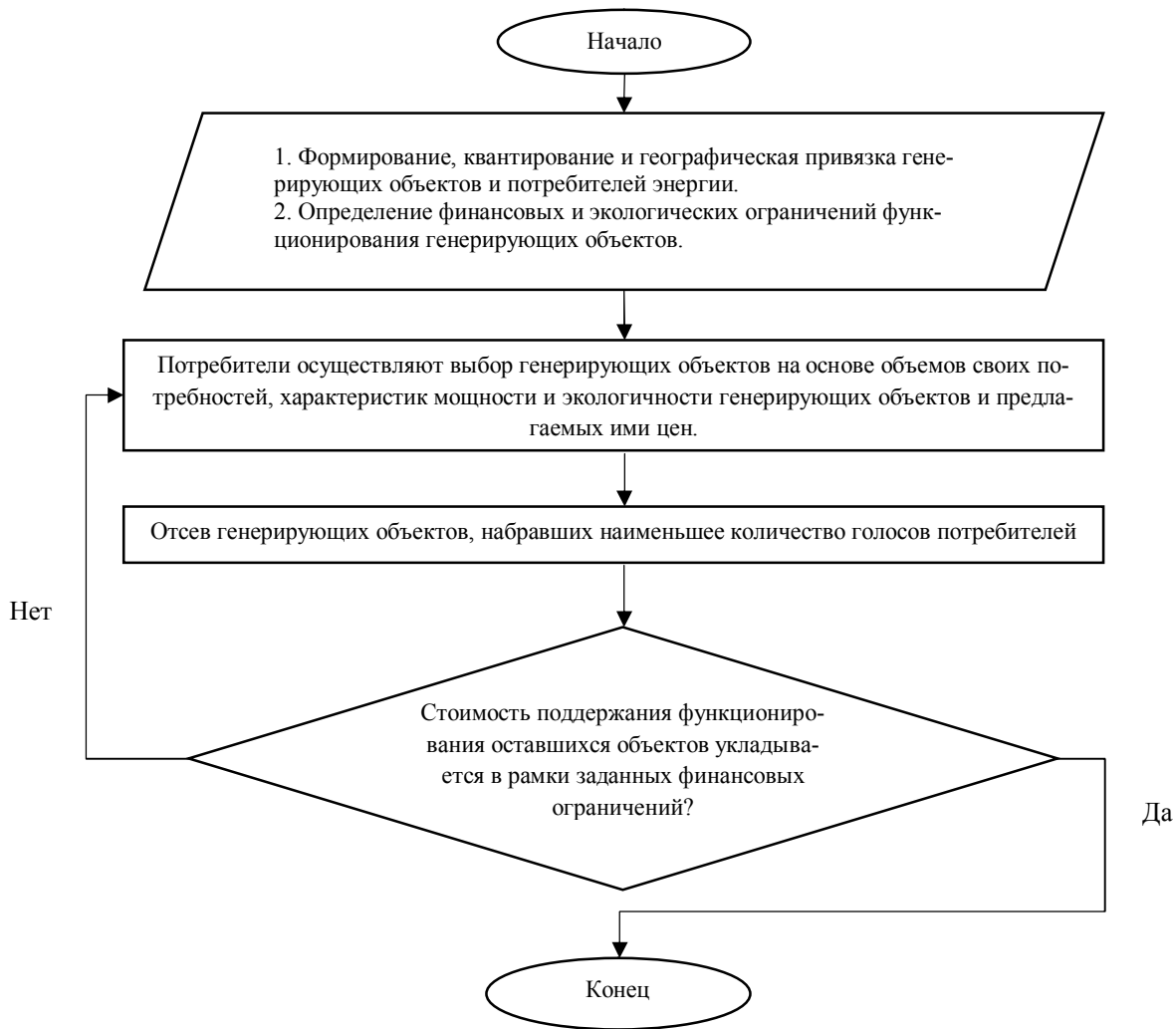


Рис. 1. Общий алгоритм реализации модели

Модельное пространство представляет собой координатную плоскость, на которой локализовано n -генерирующих объектов и m -потребителей (рис. 2). Выбор потребителем i -генерирующего сооружения j определяют:

- функция спроса потребителя D_i ;
- предложение генерирующего объекта S_j ;
- удаленность L_{ij} -генерирующего объекта j от потребителя i , определяющая транспортные издержки C_{ij} , связанные с хранением и транспортировкой энергии;
- тип генерирующего объекта K_j , определяющий характер и интенсивность углеродного следа, оставляемого им при производстве единицы энергии;
- глубина углеродного следа M_k , оставляемого генерирующим объектом типа J при производстве единицы энергии;
- экологическим налогом E , взимаемым с потребителя за оставляемый углеродный след в ходе потребления энергии, генерируемой объектом j .

Таким образом, функция полезности U_{ij} -потребителя i от связи с генерирующим объектом j строится на основе интеграции обозначенных факторов:

$$U_{ij} = P_j \cdot Q_j - C_{ij}(L_{ij}, K_{ij}) - T_{ij}(Q_i \cdot K_i \cdot E) \quad (1),$$

где выражение P_i – цена единицы энергии, предоставляемой генерирующим объектом i , Q_i – объем энергии, который готов приобрести потребитель i при данной цене, C_{ij} – транспортные расходы, зависящие от типа генерирующего объекта и удаленности от него потребителя и

углеродного налога, который вынужден уплачивать индивид i за потребление Q ед. энергии, производство которой сопровождалось углеродными выбросами.

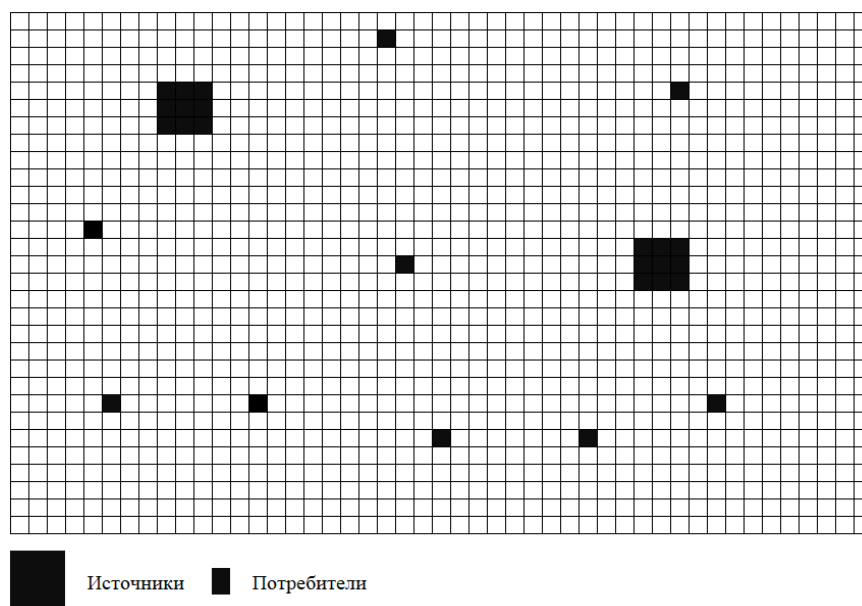


Рис. 2. Схема-пример модельного пространства

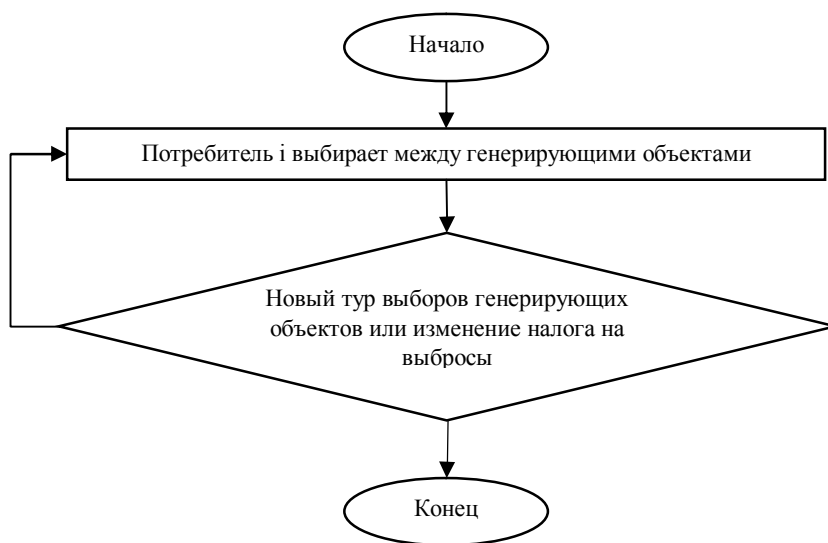


Рис. 3. Алгоритм выбора источника потребителем

В отличие от потребителей, генерирующие объекты не проявляют субъектности и не совершают выбора, а лишь калькулируют цену и объем производства энергии в зависимости от своих генерирующих возможностей и спроса завязанных на них потребителей (рис. 4). Конкурентное положение генерирующего объекта очевидным образом определяется его типом (будь то атомная электростанция или солнечная ферма) и его удаленностью от основных групп потребителей. При высоких экологических ограничениях фактор глубины углеродного следа, оставляемого им при производстве энергии, может выступать главным критерием его востребованности.

Ключевая сложность построения релевантной модели на основе приведенной концептуализации состоит в необходимости предварительной оценки стоимости и производительности генерирующих объектов, а также инфраструктуры, необходимой для обеспечения их связи

с потребителями. Отсутствие корректных вводных может иметь критические последствия для качества модели.

Большие сложности при реализации модели создает эффект масштаба (рис. 5). Как известно из экономической теории, эффект масштаба находит свое отражение в зависимости предельных издержек производства от объема выпуска. Так, на рисунке 5 мы видим снижение предельных издержек производства при увеличении производства до Q' за счет эффекта масштаба. Дальнейший рост производства ведет к росту предельных издержек.

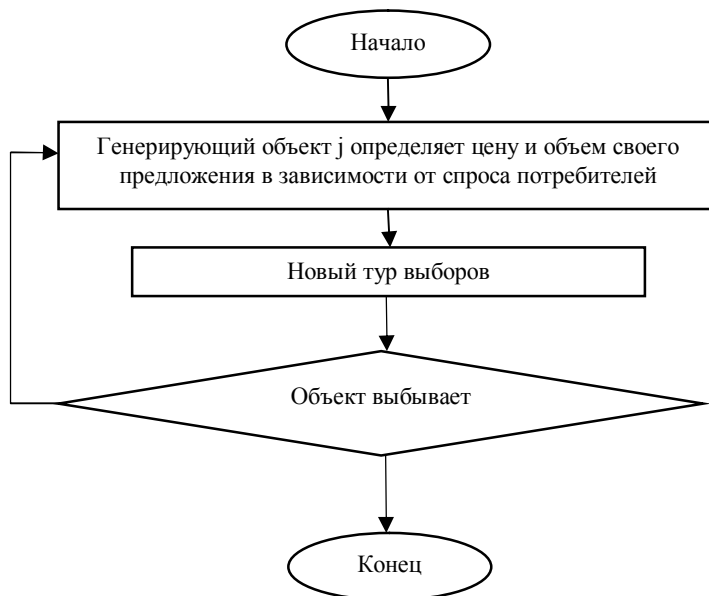


Рис. 4. Алгоритм функционирования генерирующего объекта в рамках модельной концептуализации

Обсуждение

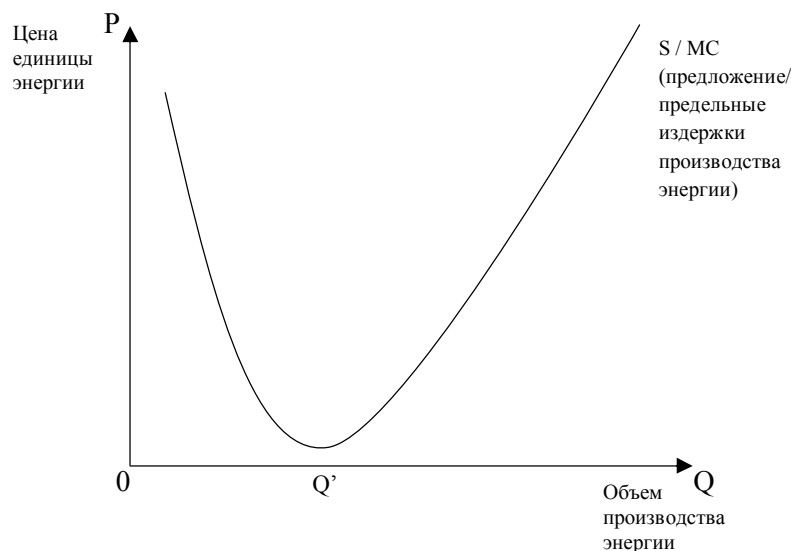


Рис. 5. Эффект масштаба: зависимость предельных издержек от объема производства

Теоретически все генерирующие объекты должны обладать уникальной функцией предложения, отражающей предельные издержки производства, зависящие от их типа и масштаба. Так, например, очевидна разница в капиталоемкости угольных ТЭС и гидроэлектростанций. Инфраструктура гидроэлектростанций, очевидно, является более капиталоемкой, и потому для

обеспечения рентабельности их функционирования требуются более высокие объемы производства. Малые объемы, очевидно, не позволят источникам с высокой капиталоемкостью поддерживать конкурентоспособный уровень цен.

На старте реализации источники с низкой капиталоемкостью имеют безусловные ценовые преимущества по сравнению с крупными капиталоемкими источниками, что очевидным образом является ключевым фактором их отсева в первых раундах голосования.¹ С целью нивелирования данного фактора в первых раундах реализации предлагается закрепить за генерирующими объектами высокой капиталоемкости некоторый фиксированный уровень цен.

Заключение

Предлагаемая в рамках настоящего исследования модель является инструментом определения оптимальной представленности территории источниками энергии с учетом финансовых и экологических ограничений. Агент-ориентированный характер модели, предполагающий рассмотрение объектов в атомарном виде, позволяет учитывать индивидуальные особенности каждого генерирующего объекта и потребителя, что открывает широкие возможности для проведения сценарных экспериментов.

Реализация больших инфраструктурных проектов требует больших финансовых вложений и, очевидно, связана с высокими коррупционными рисками. Применение математической модели при проектировании новой энергетической системы позволит обеспечить прозрачность данного процесса, отодвинув значимость прямых управленческих решений менеджеров на второй план.

Литература

1. Зулькарнай И.У. Республике Башкортостан необходима новая стратегия экономического развития в свете энергетического перехода // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2021. № 6. С. 4–18.
2. Зулькарнай И.У. Структурная перестройка экономики или сохранение нефтехимической специализации экономики республики Башкортостан? // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2020. № 6. С. 11–14.
3. Рамазанов Р.Р. Агентное моделирование в исследовании и прогнозировании социально-экономических систем и процессов // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 1. С. 19–32.
4. Рамазанов Р.Р. Механизмы перехода к зеленой экономике // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2021. № 5. С. 34–40.
5. Финансирование зеленого перехода: инвестиционный план «Зеленый пакт для Европы» и механизм справедливого перехода [Электронный ресурс]. URL: <https://globalcentre.hse.ru/news/333142452.html>
6. Greenhouse Gas Bulletin. Another Year Another Record [Electronic resource]. URL: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-bulletin-another-year-another-record>
7. The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution / OECD iLibrary [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1787/9789264257474-en>
8. The European Green Deal Investment Plan and Just Transition Mechanism explained [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_24
9. What is Energy Return on Investment (EROI)? [Electronic resource]. URL: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/energy-return-on-investment-eroi/>

¹ На сегодняшний день именно высокая капиталоемкость генерирующих объектов является главным камнем преткновения на пути зеленого перевооружения.