

ЛИТЕРАТУРА:

1. Li F. Porous ultra-high temperature ceramics: preparation, Structure and properties // Chin. Ceram. Soc. – 2018 N 46 C. 1669-1684.
2. Pierson HO. Handbook of refractory carbides and nitrides. - Westwood and New Jersey: Noyes Publications, 1996.
3. MinYu. Wood-derived ultra-high temperature carbides and their composites: A review Author links open overlay panel. // Ceramics International – 2020. V 46, N 5, C. 5536-5547.
4. M. Luo. Biomorphic TiN/C ceramics prepared by reduction–nitridation of charcoal/titania composite. // Mater. Sci. – 2007. V 42. N 11. C. 3761-37661.
5. Pak A. Ya., Grinchuk P. S., Mamontov G. Ya., Yakich T. Yu., and Gumovskaya A. A. Production of HfTaTiNbZrC5 high-entropy carbide micropowder in the plasma of an atmospheric pressure arc discharge // Eng. Phys. & Thermophys – 2021.- V 94, N 1.

Научный руководитель: А.Я. Пак, к.т.н., научный сотрудник НИЦ «Эко-энергетика 4.0» ИШЭ ТПУ.

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ МОРСКИХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Д.Ю. Давыдов

Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ

Приоритетным направлением развития ветроэнергетики может стать построение морских ветроэлектростанций (МВЭС) в шельфовых зонах акваторий морей северных регионов России, применение которых позволит обеспечить 30-50% снижение потребностей в органическом топливе [1]. Сдерживающим фактором является большая капиталоемкость подобных проектов и, как следствие, высокий показатель нормированной себестоимости электроэнергии (LCOE). Следовательно, для обеспечения рентабельности необходимо достижение высокой производительности МВЭС при минимуме экономических затрат на ее сооружение (CAPEX). Для достижения общей высокой эффективности МВЭС требуется решение комплексной задачи оптимизации компоновки, включающей в себя выбор схемы размещения ветроустановок (ВЭУ) и проектирование электрической системы. Высокая сложность решения поставленной задачи обусловлена большим разнообразием состава и типов оборудования МВЭС, множеством технических ограничений, что вызывает необходимость разработки эффективных средств оптимизации, позволяющих выполнять сравнение множества различных вариантов построения МВЭС за адекватное время.

Взаимосвязи между задачами оптимизации расстановки ВЭУ и оптимизации электрической системы, а также факторы и ограничения показаны на рисунке 1.



Рис. 1. Схема взаимосвязей между задачами оптимизации МВЭС: AED – среднегодовое количество электроэнергии, переданное в сеть

В результате проведенных исследований была реализована методика одновременного поиска оптимальной схемы расстановки ВЭУ и синтеза конфигурации электрической системы, включающего в себя построение схемы кабельных соединений, выбор месторасположения морской подстанции (МТП), а также выполнение поиска путей прокладки экспортирующих кабельных линий, соединяющих МТП с береговой подстанцией. Особенностью методики является возможность задания в процессе оптимизации нестандартных схем расстановки ВЭУ – круговых или криволинейных с обеспечением их симметричности, что является необходимым из соображений безопасности навигации, а также ввиду простоты монтажа и обслуживания по сравнению с несимметричными схемами [2].

Блок-схема методики оптимизации и варианты реализуемых схем продемонстрированы на рисунке 2.

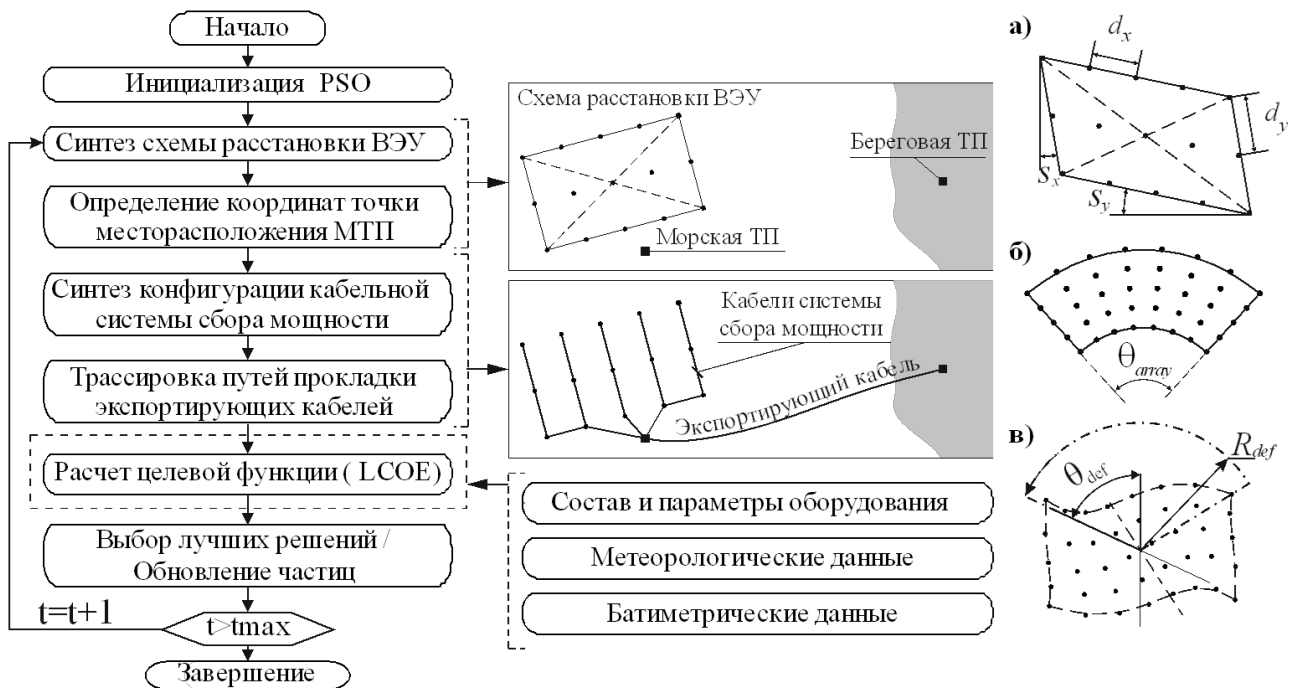


Рис. 2. Блок-схема алгоритма комплексной оптимизации компоновки оборудования МВЭС: а – прямолинейная схема компоновки; б – круговая схема компоновки; в – криволинейная схема компоновки

В качестве алгоритма оптимизации используется алгоритм роя частиц (PSO) посредством которого выполняется поиск параметров определяющих геометрические размеры, форму и пространственное ориентирование массива ВЭУ, а также поиск координат точки расположения МТП и параметров алгоритма выполняющего построение схемы кабельных соединений системы сбора мощности ВЭС с минимизацией затрат на кабели и распределительные устройства, описание которого дано в статье [3]. Способ трассировки путей прокладки экспортных кабелей реализован посредством триангуляции расчетной сетки покрывающей координатную плоскость участка акватории размещения МВЭС, а затем поиска дерева кратчайших путей от точки сбора мощности (МТП) до точки размещения береговой подстанции посредством алгоритма Дейкстры (Dijkstra).

В качестве целевой функции для минимизации используется показатель нормированной себестоимости производства электроэнергии:

$$LCOE \rightarrow \min \left[\frac{\sum_{t=0}^T \frac{CAPEX(t) + OPEX(t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{AED(t)}{(1+r)^t}} \right], \quad (1)$$

где $CAPEX(t)$, $OPEX(t)$ – капитальные и эксплуатационные затраты; r – норма дисконта; T – срок эксплуатации МВЭС, лет.

Расчет целевого показателя выполняется с использованием разработанной модели оценки производительности и инвестиционных затрат на компоненты МВЭС с различной конфигурацией компоновки и составом оборудования с учетом зависимости стоимости опорных конструкций (фундаментов) ВЭУ от глубины на участке акватории, потерь мощности от аэродинамического эффекта и потерь в компонентах электрической системы. Для моделирования скорости и направления ветра используется модель на основе стохастического процесса Орнштейна-Уленбека дробного типа, исследование которой проведено в работе [4].

В качестве тестового примера выполнялся поиск оптимальной компоновки ветроэлектростанции, эквивалентной по составу оборудования МВЭС «Horns Rev 1» на участке с исходного географического расположения. Общий вид фактической схемы компоновки МВЭС и оптимизированные схемы показаны на рисунке 3.

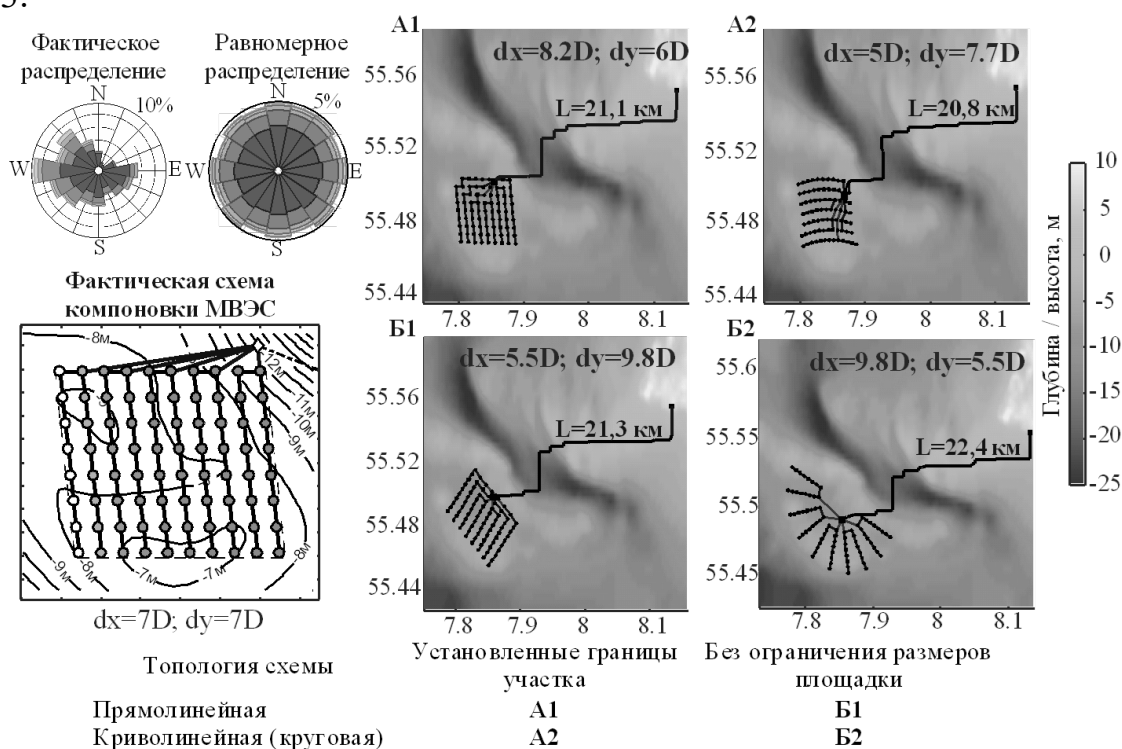


Рис. 3. Оптимизированные компоновки МВЭС «Horns Rev 1»

В первом случае поиск схемы расстановки турбин выполнялся в пределах установленных границ площадки фактической компоновки МВЭС (А1, А2). Во втором случае, ограничения площади участка размещения турбин не задается (Б1, Б2). Результаты сравнения стоимостных показателей, производительности и нормированной стоимости электроэнергии показаны на рисунке 4.

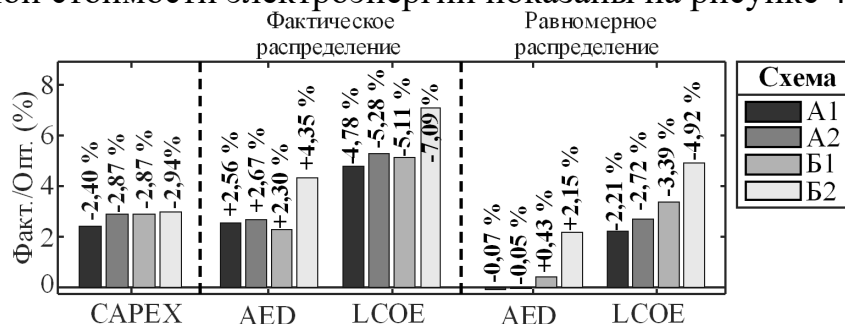


Рис. 4. Сравнение технико-экономических показателей полученных решений

Согласно полученным результатам, предложенный алгоритм позволяет улучшить исходную схему и снизить расчетный показатель LCOE в среднем на 3,5-3,8 % при размещении ветроустановок в пределах участка заданной формы (А1, А2) и 4-6 % при выполнении оптимизации без ограничения на размеры и форму участка размещения ВЭУ (Б1, Б2), что достигается за счет варьирования угла поворота массива ветроустановок с учетом преобладающего направления ветра с сокращением дистанции между рядами турбин до 5,5D, что в свою очередь позволяет снизить CAPEX за счет снижения протяженности кабелей. При

этом повышение производительности для вариантов (Б1, Б2) наблюдается как при фактическом распределении, так и равномерном распределении ветра по направлениям, что свидетельствует о надежности полученных решений в условиях неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Таровик В.И. Развитие морских электростанций использующих возобновляемые источники энергии / В.И. Таровик, Н.А. Вальдман, М.С. Труб, Л.Л. Озерова // Арктика: экология и экономика. - 2013.- N 2 (10).- С. 34-47.
2. González J.S. Optimal wind-turbine micro-siting of offshore wind farms: A grid-like layout approach / J.S. González, A.L. Trigo-García, M.B. Payán, J.R. Santos, A.G. González-Rodríguez // Applied Energy. - 2017.- V. 200.- P. 28-38.
3. Давыдов Д.Ю. Оптимизация кабельной сети сбора мощности морских ветроэлектростанций с применением параметризованного эвристического алгоритма / Д.Ю. Давыдов, С.Г. Обухов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». - 2021.- Т. 21.- N 3.- С. 66-75.
4. Давыдов Д.Ю. Модель скорости ветра на основе дробного стохастического процесса / Д.Ю. Давыдов, С.Г. Обухов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2021.- Т. 332.- N 5.- С. 39-48.

Научный руководитель: С.Г. Обухов, д.т.н., профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

УТИЛИЗАЦИЯ НЕГОРЮЧИХ КОМПОНЕНТ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА В СОСТАВЕ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТЕПЛА

А.Ж. Калтаев¹, К.Б. Ларионов², В.Е. Губин²
Томский политехнический университет^{1,2}
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова^{1,2}, группа А1-46¹

Лигниноцеллюлозная биомасса в настоящее время является пригодным энергетическим ресурсом для уменьшения антропогенных выбросов [1]. Однако её прямое сжигание неэффективно ввиду малой насыпной и энергетической плотности [2]. Для повышения этих характеристик применяют различные методы термической конверсии, например, пиролиз. Пиролиз как правило проходит при относительно низких температурах 300-800 °С [3]. Несмотря на значительный коммерческий потенциал данных технологий и существующий объем научных исследований в этой области [4], внедрение подобных технологий в промышленность в настоящее время ограничено [5]. Это связано, в том числе и с тем, что в процессе пиролиза возникают множество побочных материальных