

Список использованных источников:

1. Ahuja R. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications / R. Ahuja, T. Magnati, J. Orlin. – Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1993.
2. Bagnara R. A New Encoding of Not Necessarily Closed Convex Polyhedra [Електронний ресурс] / R. Bagnara, E. Zaffanella, J. Orlin. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <https://cliplab.org/Conferences/Colognet/ITCLS-2002/PAPERS/RobertoBagnara.pdf>.
3. Bagnara R. A New Encoding and Implementation of Not Necessarily Closed Convex Polyhedra [Електронний ресурс] / R. Bagnara, E. Zaffanella, J. Orlin. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.bugseng.com/products/ppl/documentation/BagnaraHZ03a.pdf>.
4. Safe Compositional Network Sketches: Tool & Use Cases [Електронний ресурс] / A.Lapets, A. Kfoury, A. Bestavros, A. Ocean. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://pdfs.semanticscholar.org/7674/8280fc4748fb5c496f022dfa2341043409ed.pdf>
5. Brandenburg F. Shortest path and maximum flow problems in networks with additive losses and gains / F. Brandenburg, M. Cai. // Theoretical Computer Science. – 2011. – №412. – С. 391–401.
6. Bestavros A. A Domain-Specific Language for Incremental and Modular Design of Large-Scale Verifiably-Safe Flow Networks [Електронний ресурс] / A. Bestavros, A. Kfoury. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/pdf/1109.0775.pdf>.
7. Kfoury A. The Denotational and Static Semantics of a Domain-Specific Language for Flow-Network Design [Електронний ресурс] / Assaf Kfoury // Boston University. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cs.bu.edu/techreports/pdf/2011-017-denotational-and-static-semantics-of-dsl.pdf>.
8. Kfoury A. A Compositional Approach to Network Algorithms [Електронний ресурс] / Assaf Kfoury // Boston University. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cs.bu.edu/techreports/pdf/2013-015-compositional-algorithms.pdf>.
9. Kfoury A. Efficient Reassembling of Graphs / A. Kfoury, S. Mirzaei. // Journal of Combinatorial Optimization. – 2016. – №32. – С. 1–33.

**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ
АККУМУЛЯЦИИ ДЛЯ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ
УСЛОВИИ МИНИМИЗАЦИИ УДЕЛЬНОЙ СТОИМОСТИ
БАЛАНСИРОВАНИЯ**

Федорчук Станислав Олегович

Научный руководитель: к.т.н. Немировский И.А.

Национальный Технический Университет

«Харьковский Политехнический Институт»

Украина

На сегодняшний день интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одной из основных задач для энергосистем многих стран, в том числе и Украины, взявшей обязательства к 2035 году увеличить их долю до 20% от общей генерации. [1]. Глобальное развитие генерации на ВДЭ наряду с положительными сторонами имеет ряд негативных последствий, связанных с хаотичностью генерации, падением качества электрической

енергии по причине большого количества преобразующих устройств, осложнением обеспечения баланса активной и реактивной мощности, необходимости иметь маневренные мощности.

Анализ вариантов интеграции возобновляемых источников имеет два направления, которые условно можно назвать централизованным и децентрализованным[2]:

Первый вариант базируется на строительстве возобновляемых источников большой мощности и характерен для традиционных сетей. Для его реализации необходимо не только выбрать правильное место для установки, ориентируясь на условия окружающей среды, но и учесть возможность их присоединения к существующим сетям и рассмотреть вопросы надежности.

Второй вариант предусматривает использование установок небольшой мощности в непосредственной близости к потребителям, что приводит к снижению потерь при передаче электрической энергии. На сегодняшний день это направление получило значительно развитие, в том числе в Украине, за счет бытовых потребителей, установивших у себя солнечные панели и ветрогенераторы, которые работают по зеленому тарифу. Причиной тому стала стимулирующая, привязанная к курсу евро, цена покупки избытков энергии, упрощение получения разрешающей документации и гарантия покупки государством произведенной электрической энергии.

В обоих случаях основную проблему для энергосистемы приносит хаотичный характер генерации и её нестабильность по времени, что является сдерживающим фактором для внедрения ВИЭ во многих странах.

В связи с этим очень остро встает вопрос балансирования мощности, за счет использования высокоманевренных электрических станций и аккумуляции. В качестве маневренных станций рассматриваются варианты тепловых, газотурбинных электростанций или ГАЭС.

С целью оценки небалансов выработки электроэнергии во времени нами были проведены исследования на основе статистических данных за 10 лет по объему потребления и возможной выработки солнечной и ветровой энергии для конкретного района. Это позволило сделать прогнозную оценку по необходимой мощности аккумуляции.

Исходя из этого, была поставлена задача оценки удельной стоимости электроэнергии для конечного потребителя при различных типах аккумуляции.

Для оптимального, с точки зрения минимизации стоимости энергии для конечного потребителя, выбора системы аккумуляции (СА) предлагается использовать следующие этапы:

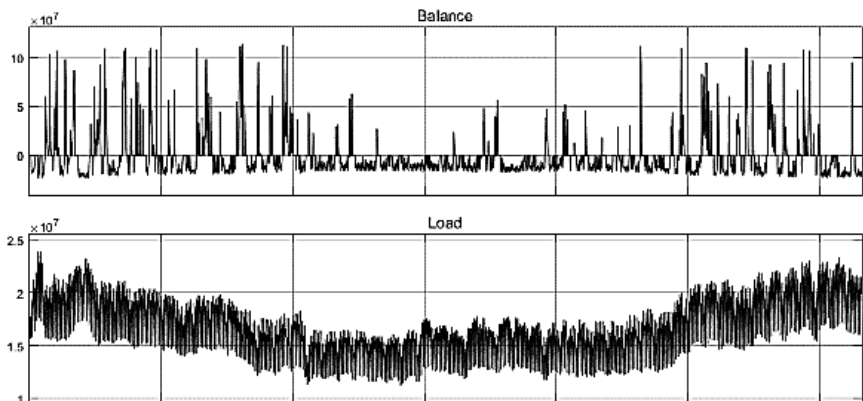
- 1) Определение необходимой емкости для накопителей.
- 2) Определение тарифа для работы проектируемой электростанции.
- 3) Расчет экономических аспектов использования системы аккумуляции.
- 4) Расчет экономических аспектов для трансформирующего оборудования.
- 5) Расчет экономических аспектов передачи электрической энергии от СА к потребителям.
- 6) Расчет экономических аспектов для системы управления.
- 7) Выбор территории размещения.

Оценка необходимого объема накопления энергии может формироваться на основе:

- удельных норм. Так рекомендуемая степень резервирования представляет собой от 80 до 100% мощности возобновляемого источника;
- возможностей энергосистемы. В случае если значительная часть нагрузки региона покрывается возобновляемыми источниками и имеется дефицит пропускной способности, аккумуляция должна покрыть этот дефицит;
- результатов предварительного компьютерного моделирования.

Наличие возможности спрогнозировать или синтезировать предполагаемую нагрузку и погодные условия на длительный период позволяет вычислить оптимальный объем накопителя, базирясь на небалансах и возможностях энергосистемы;

Одним из вариантов выбора является использование математического моделирования на верифицированных моделях с дополнительным решением задач оптимизации.[3] Такой способ позволяет путем моделирования погодных условий за несколько лет, основанных на них генерации и реального потребления установить отклонение от баланса для каждого интервала времени. В комбинации с оптимизационными методами исследования и четко сформулированными дополнительными условиями это дает возможность подобрать объем накопителя удовлетворяющий требованиям минимизации стоимости кВт·ч или капитальных затрат. Такой подход позволяет не только определить оптимальное соотношение генерирующих мощностей и генерации, но и проверить ее работу в имитируемых условиях. Пример результатов такого моделирования приведен на рисунке 1. В нем рассматривается , для которой было поставлено основное условие годового равенства передачи и потребления электрической энергии от энергосистемы.



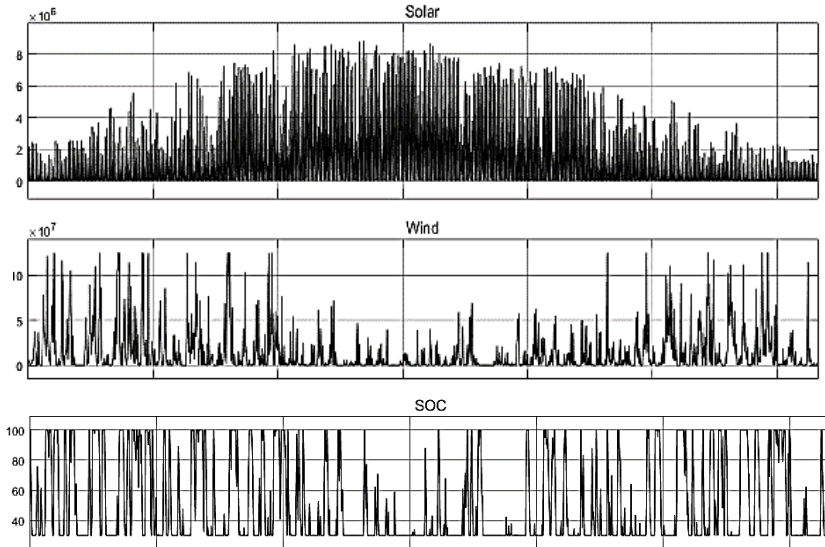


Рис. 1. Результати роботи моделі оптимізації об'єму накопичувача

Предлагается использовать системы аккумуляции для компенсации отклонений прогнозируемого значения генерации от реального. В таком случае достаточно будет покрыть избытки или недостатки электрической энергии с учетом потерь в сетях. При этом основываясь на распределенной генерации и аккумуляции возможно даже свести к минимуму сопутствующие потери при установке накопителей в непосредственной близости от станций на ВИЭ.

В вопросах прогнозирования генерации возможно опираться на опыт Германии, как одного из флагманов внедрения возобновляемой генерации. Согласно данным [4] по среднесрочному прогнозированию точность для отдельной установки составляет 20%, для крупной электрической станции 5-7%, а целого региона 4-6%.

Определение тарифа для проектируемой системы аккумуляции проводится в случае, если планируется использовать уже существующую СА с утвержденным тарифом. Примером может являться ГАЭС с утвержденным в Украине тарифом на 2018 год на уровне 288,85 коп за кВт·ч.

Система аккумуляции. В зависимости от наличия стандартизованного тарифа может включать в себя следующие экономические показатели: амортизацию аккумулирующего оборудования, обслуживание и зарплату персонала, стоимость потерь электрической энергии при заряде и разряде, а также потерь от саморазряда. В случае использования СА с уже известным тарифом первые два пункта не учитываются.

Система преобразования. Включает в себя выбор DC-DC преобразователей, гибридных сетевых инверторов и трансформаторов. В

рамках расчета необходимо учесть амортизацию и стоимость потерь при использовании.

Передача электрической энергии. При выборе методов транспортировки электрической энергии необходимо учесть возможность использования персонального использования или использования уже существующей системы передачи. В первом случае необходимо учитывать амортизационные отчисления, зарплату обслуживающему персоналу, потери при транспортировке. Во втором случае первые два пункта заменяются на тариф для передачи электроэнергии для данного класса напряжения.

Расчет системы управления. Включает в себя выбор измерительного оборудования, непосредственно систему управления, её обслуживание и алгоритм её работы. Общемировые практики устанавливают годовую стоимость управления аккумуляцией на уровне 80-100\$ за кВт установленной мощности, а стоимость её обслуживания на уровне 2% от стоимости системы управления.

Выбор территории размещения. Происходит на основе проектной занимаемой площади, критерия территориальной близости к объекту потенциального небаланса и возможности подключения к электрическим сетям.

На основе предложенной методологии сравним стоимость 1 кВт·ч от системы накопления энергии для ГАЭС, свинцово-кислотных и литий-ионных накопителей. Основываясь на таких предусловиях, был проведен расчет занесенный в таблицу 1. Сравнение будет производиться на основе следующих исходных условий:

- Оценка необходимого объема накопления энергии. Сравним системы с аналогичной ёмкостью на уровне 400000 кВт·ч.
- Длительность ежедневной работы от 2 до 6 часов.
- Определение тарифа. Тариф установлен только для использования ГАЭС и составляет 2,885 грн.
- Потери при заряде и разряде рассчитаем на основе общего КПД равного 80% для ГАЭС и 98% для химических аккумуляторов.
- Саморазряд для ГАЭС принимаем на уровне 0%, для альтернативных вариантов по таблице [5].
- В случае хим. аккумуляторов ориентируемся на удельные показатели расчета амортизации ведем в зависимости от капиталовложений и количества циклов зарядов-разрядов и затраты на обслуживание составит 1-6%.
- Система преобразования. Включает в себя АДЦТН 125000/330/110 и ТРДЦН-125000/110 для обеспечения возможности передачи эл энергии на значительные расстояния. В случае хим. аккумуляторов дополнительно учитываем потери в инверторе основываясь на средневзвешенном значении КПД[6] 88,1%. Для DC-DC преобразователя принимаем средний КПД на уровне 89%.
- Передача электрической энергии. Осуществляется через: магистральные сети с напряжением 330 кВ и протяженностью 300 км, 100 км сетями 110 кВ и 10 км сетями 10 кВ. Оплата за передачу происходит согласно тарифам распределительных и магистральных сетей Украины.

Как мы видим на основе расчетов, показанных в таблице 1, наиболее выгодным вариантом является использование СА на основе литий-ионных аккумуляторов, которые оказываются выгоднее стандартно используемых гидроаккумулирующих электрических станций. Однако свинцово-кислотные аккумуляторы проигрывают в расчетной стоимости обоим вариантам по причине низкого количества разрешенных циклов до нарушения характеристик оборудования. С учетом отсутствия жесткой необходимости привязки к географическим критериям химические аккумуляторы могут даже уменьшить стоимость 1 кВт·ч с помощью установки в непосредственной близости к потребителю или резервируемому источнику.

Во всех трёх случаях примерно 75% образуются тарифом или амортизацией и стоимостью обслуживания. Значительное отличие состоит в денежном эквиваленте потерь на заряд и разряд т.к. КПД этих процессов значительно отличается у исследуемых случаев. В целом расчет показывает, что системы аккумуляции на основе литий-ионных накопителей возможно использовать для резервирования генерирующих мощностей наравне с ГАЭС.

Таблица 1

Результаты сравнительного расчета стоимости 1 кВт·ч электрической энергии при использовании различных СА для резервирования генерации

	ГАЭС	Свинцово-кислотные накопители	Литий-ионные накопители
Дней работ в год	350	350	350
Ежедневный объем энергии, кВт·ч	400000	400000	400000
Амортизация СА, грн.		1535320	1035267
		74,28%	72,13%
Обслуживание СА, грн.		2,63	11
		0,00%	0,00%
Тарифная стоимость, грн.	288,85		
	75,55%		
Стоимость потерь при заряде или разряде, грн.	231080	117860	53589
	15,11%	5,70%	3,73%
Стоимость потерь на саморазряд, грн.		822,86	411,43
		0,04%	0,03%
Стоимость потерь при передаче эл. энергии, грн.	4011	4801	3238
	0,26%	0,23%	0,23%
Оплата за передачу эл. энергии, грн.	102527	184584	184584
	6,70%	8,93%	12,86%
Суточная амортизация трансформирующего оборудования, грн.	99,71		99,71
	0,00%	0,00%	0,01%
Потери в трансформирующем оборудовании, грн.	13518	200666	135309
	0,88%	9,71%	9,43%
Амортизация системы управления, грн.	19047	19047	19047
	1,25%	0,92%	1,33%
Суточное обслуживание системы управления, грн.	3809	3809	3809
	0,25%	0,18%	0,27%
Годовая оплата	535293119,2	723455204	502377988
за кВт ч	3,82	5,17	3,59

Висновки. Предложенный вариант методики для выбора системы аккумуляции в качестве резерва позволяет определить наиболее эффективный с точки зрения минимизации удельной стоимости накопленной энергии тип накопителя и его параметры. При наличии статистических данных возможно использовать компьютерное моделирование, что позволяет подобрать характеристики оптимальные для определенных условий. Также основываясь на статистическом анализе точности прогноза генерации от возобновляемых источников возможно подобрать и оптимальную ёмкость систем аккумуляции. Приведенный расчет показывает, что химические аккумуляторы можно использовать для поставленных целей.

Список использованной литературы:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс] // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – 2017 – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
2. Distributed vs. centralized electricity generation: are we witnessing a change of paradigm? [Електронний ресурс] // Vernimmen. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: http://www.vernimmen.be/ftp/An_introduction_to_distributed_generation.pdf.
3. 3.Report on Forecasting, Concept of Renewable Energy Management Centres and Grid Balancing [Електронний ресурс] // Government of India. Ministry of new and renewable energy – 2017 - Режим доступу до ресурсу: <https://mnre.gov.in/file-manager/UserFiles/draft-report-fsfb-remcs.pdf>
4. Федорчук С. О. Моделирование гибридной системы генерации на ВИЭ для анализа энергоснабжения потребителей / С. О. Федорчук, И. А. Немировский. // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко-2017-№187-С. 48-50.
5. 5 Electric battery [Електронний ресурс]// Wikipedia – 2017 - Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електричний_акумулятор
6. 6. Efficiency of the photovoltaic single-phase inverter at different load level [Електронний ресурс] // Department of Renewable Energy Sources of the Kiev Polytechnic Institute - 2018 - Режим доступу до ресурсу: <http://vde.kpi.ua/index.php/129-pv/220-2018-01-25-10-37-38>

МЕХАНІЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ З КУЛАЧКОВИМ УДАРНИМ МЕХАНІЗМОМ МАШИНИ ДЛЯ ФІНІШНОЇ АНТИФРИКЦІЙНОЇ СТАТИКО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

Костюк Марія Андріївна
аспірант **Костюк Сава Андрійович**

Науковий керівник: к.т.н., доцент Косіюк Микола Миколайович
Хмельницький національний університет
Україна

Анотація. В статті розглянуті способи покращення якості та підвищення зносостійкості поверхневого шару деталей пар терття. Встановлено перспективність застосування комбінованих методів впливу на поверхні деталей пар тертя з метою підвищення їх зносостійкості шляхом створення наноструктурованих антифрикційних покриттів фрикційним способом.