

Рис. 2. Переходный процесс зарядного тока в момент подключения генератора к аккумулятору

На основе данной модели был сделан вывод о том, что переходный процесс имеет минимальное влияние на параметры механической системы в дискретизации 1 час на действующее значение напряжения генератора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safwat I.M., Li W., Wu X. A Novel Methodology for Estimating State-Of-Charge of Li-Ion Batteries Using Advanced Parameters Estimation // *Energies*. – 2017. – № 11 (10). – С. 1751.
2. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б., Попов М.М. Режимы работы микрогидроэлектростанции со стабилизацией выходного напряжения при помощи управления инвертором // *Известия Томского политехнического университета*. – 2023. – Т. 334. – № 8. – С. 51–58
3. Лукутин Б.В., Попов М.М. Повышение техникоэкономической эффективности инверторной микрогидроэлектростанции деривационного типа // *Омский научный вестник*. – 2023. – V. 3 (187). – С. 68–76.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ

М.А. Яхъяев<sup>1</sup>, Д.Т. Гериханов<sup>1</sup>, Я.Ю. Малькова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, г. Грозный

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: И.Х. Саламов<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры АТПП,  
ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова

Углеродный баланс нашей планеты является одним из фундаментальных показателей, определяющих климатическую стабильность и здоровье всех экосистем. Среди существующих инструментов поддержания углеродного баланса можно выделить частичный или же полный переход на возобновляемые источники энергии, в частности ввод в эксплуатацию солнечных электростанций. Снижение удельного потребления энергии и сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу являются основными показателями позитивного воздействия солнечных электростанций на экологическую обстановку и состояние окружающей среды в целом [1]. Согласно проведенным оценкам [2–4], в среднем каждое удвоение мощности солнечных электростанций ведет к снижению удельного потребления энергии на 10–12 %, при этом выбросы парниковых газов сокращаются более существенно, на 18–24 %.

Для проведения оценки экологической эффективности солнечных электростанций используются методы сравнения вредных выбросов от сжигания твердого или жидкого топлива для

генерации 1 кВт·ч электроэнергии [5]. Также отметим, что согласно открытым данным [6, 7], в целом, доля вредных выбросов в атмосферу от генерирующих объектов в суммарном объеме выбросов от всей экономической деятельности людей в нашей стране составляет 23,3 %. Для обозначения объема вредных выбросов от генерирующих объектов используется термин «Углеродоемкость энергии».

Согласно открытым данным, среднее значение углеродоемкости электроэнергии для тепловых электростанций в России составляет 605 грамм CO<sub>2</sub> эквивалента на 1 кВт·ч электроэнергии [8, 9]. Также в некоторых источниках приводятся цифры порядка 358 г CO<sub>2</sub> эквивалента на 1 кВт·ч. Ниже, на рис. 1 приведен график помесичной выработки сетевой солнечной электростанции 15 кВт, функционирующей на территории Чеченской Республики, за 2023 г., а также анализ ее экологической эффективности, выраженной в граммах CO<sub>2</sub> эквивалента сокращения объема выбросов.

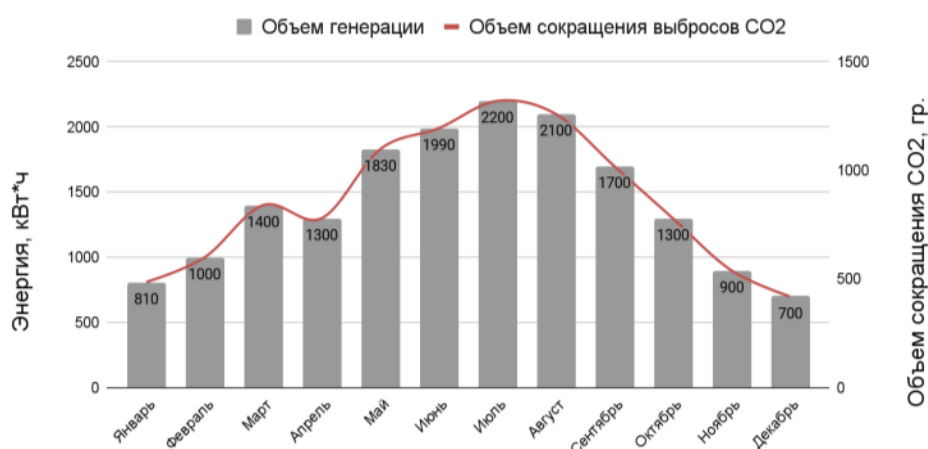


Рис. 1. Анализ выработки и экологической эффективности сетевой солнечной электростанции 15 кВт, функционирующей на территории Чеченской Республики, за 2023 г.

В приведенном на рис. 1 графике объем сокращения выбросов CO<sub>2</sub> эквивалента в атмосферу считается классическим методом – линейной зависимостью объемов CO<sub>2</sub> от объема генерации. Общий объем выработки электроэнергии за 2023 год составил 17,2 МВт·ч, общий объем сокращения выбросов CO<sub>2</sub> – 10,3 т. Однако известно, что в реальных эксплуатационных условиях солнечные электростанции оказывают влияние на локальный энергетический баланс посредством эффекта теплового острова [9]. Кроме того, имеет место негативное воздействие на окружающую среду в разрезе полного жизненного цикла солнечной электростанции, если брать в рассмотрение этапы производства и утилизации отдельных ее компонентов.

Анализ секвестрации углерода показывает, что потенциал суши составляет 23,8 Гт CO<sub>2</sub> эквивалента, а почва способна поглощать до 5,5 млрд т в год [10]. Однако при локальном тепловом воздействии (например, обозначенный выше эффект фотоэлектрического теплового острова) поглощающая способность почвы теоретически может уменьшиться, что также сказывается на общем углеродном балансе.

При проектировании и выполнении анализа инвестиционной привлекательности ввода новых объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии важным этапом является прогнозирование их выработки, которое включает в себя:

- анализ локального уровня инсоляции,
- анализ метеорологических данных,
- прогноз снижения уровня секвестрации CO<sub>2</sub> почвой из-за теплового воздействия фотоэлектрических модулей и др.

Концептуальная структура подобной автоматизированной системы проектирования и прогнозирования выработки объекта генерации представлена далее, на рис. 2. Структура включает в себя как классические этапы проектирования с прогнозированием выработки и анализом энергопотребления объекта, так и этап прогнозирования в рамках экологического аспекта.

Согласно исследованиям, потенциал секвестрации углерода почвой с нулевой обработкой составляет 0,34 тонны/Га в год или 34 кг на 1000 м<sup>2</sup> [10]. Например, сетевая солнечная электростанция «Наурская», функционирующая на территории Чеченской Республики с 2021 г., имеет номинальную мощность 5 МВт и занимает площадь 27 тыс. м<sup>2</sup>. При этом, потенциально почва указанной площади без обработки, теплового и другого антропогенного воздействия может поглощать до 1000 кг CO<sub>2</sub> эквивалента. Одна из крупнейших солнечных электростанций России в Самарской области занимает площадь 216 Га. Потенциал секвестрации углерода почвой той же площади – 73,4 т в год.

Таким образом, в работе установлено, что при проектировании ввода объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии, в частности солнечных электростанций, необходимо выполнять прогнозирование не только потенциальной выработки мощности по базам данных с метеорологическими параметрами, но и также возможного экологического эффекта в виде сокращения объема выбросов в CO<sub>2</sub> эквиваленте.



Рис. 2. Структура системы автоматизированного проектирования и прогнозирования выработки солнечной электростанции с учетом экологического аспекта (СЭС – солнечная электростанция)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Louwen A., van Sark Wilfried G.J.H.M., Faaij Andre P.C., Schropp Ruud E.I. Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaic development // Nature Communications. – 2016. – V. 13728. – P. 1–9.
2. Огнивцев С.Б. Глобальные климатические изменения, углеродные балансы и влияние на них сельского хозяйства // Актуальные вопросы современной экономики. – 2022. – № 7. – С. 238–249.
3. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. The Physical Science Basis. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 996 p.
4. Бобыль А.В., Малышкин В.Г., Эрк А.Ф. Методы оценки экономической эффективности солнечных электростанций // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 4(97). – С. 49–56.
5. Simple Levelized Cost of Energy (LCOE) Calculator Documentation // U.S. Department of Energy. URL; <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-documentation.html> (дата обращения: 15.11.2024).
6. Зверева Э.Р., Фарахов Т.М., Исхаков А.Р. Снижение вредных выбросов тепловых электростанций // Вестник КГЭУ. – 2011. – № 1(8). – С. 39–44.
7. Николаев А.Н., Дмитриев А.В., Латыпов Д.Н. Очистка газовых выбросов ТЭС, работающих на твердом и жидком топливе. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2004. – 135 с.
8. Санеев Б., Иванова И., Ижбулдин А., Майсюк Е. Оценка территориальной структуры выбросов диоксида углерода от объектов энергетики в Российской Федерации // Энергетическая политика. – 2022. – № 11(177). – С. 92–103.
9. Barron-Gafford Greg A., Minor Rebecca L., Allen Nathan A., Cronin Alex D., Brooks Adria E., Pavao-Zuckenman Mitchell A. The photovoltaic heat island effect: larger solar power plants increase local temperatures // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – P. 1–7.
10. Bossio D.A., Cook-Patton S.C., Ellis P.W. et al. The role of soil carbon in natural climate solutions // Nature Sustainability. – 2020. – V. 3. – P. 391–398.