

УДК 621.314

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СУДОВОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВОЙНОГО РОДА ТОКА
ПРОГУЛОЧНОГО ТЕПЛОХОДА С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
ЭНЕРГИИ**

Бурмакин Олег Анатольевич¹, кандидат технических наук, доцент
e-mail: boa_71@mail.ru

Малышев Юрий Сергеевич¹, кандидат технических наук, доцент
e-mail: elektrikasp@mail.ru

Попов Сергей Васильевич¹, кандидат технических наук, доцент
e-mail: popovsev3@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Дано обоснование целесообразности применения системы генерирования электроэнергии двойного рода тока с солнечными батареями и буферным аккумулятором на прогулочных теплоходах с малым водоизмещением. Представлена разработанная модель СЭЭС двойного рода тока с возобновляемыми источниками энергии. Показаны результаты моделирования работы СЭЭС при изменяющемся световом потоке и электрических нагрузках, соответствующих эксплуатационным режимам судна. Приведены осциллограммы напряжений и токов в контрольных точках системы. На основе проведенного анализа результатов моделирования сделаны выводы об адекватности разработанной модели.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, двойной род тока, судовая электростанция, встроенная сеть постоянного тока, возобновляемый источник энергии, буферный накопитель.

**DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF A DOUBLE CURRENT SHIP
ELECTRICAL POWER SYSTEM OF A PLEASE BOAT WITH RENEWABLE
ENERGY SOURCES**

Yuri S. Malyshev¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: elektrikasp@mail.ru

Oleg A. Burmakin¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: boa_71@mail.ru

Sergey V. Popov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: popovsev3@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article provides a rationale for the use of a dual-current power generation system with solar panels and a buffer battery on small-displacement pleasure boats. The developed model of a dual-current SEPS with renewable energy sources is presented. The results of modeling the SEPS operation with changing luminous flux and electrical loads corresponding to the vessel's operating modes are shown. Oscillograms of voltages and currents at the system's control points are given. Based on the analysis of the modeling results, conclusions are drawn about the adequacy of the developed model.

Keywords: electric power system, dual current, marine power plant, built-in DC network, renewable energy source, buffer storage.

Перспективность применения возобновляемых источников электроэнергии доказана на примере гидротехнических сооружений, а также ветро-генераторных установок и, в последнее время, солнечных электростанций. Именно направление генерирования солнечной энергии получило импульс в развитии, поскольку солнечные панели стали более доступны, вырос показатель электрической мощности панелей на единицу площади (КПД до 20%), увеличился срок службы (до 20 лет). Солнечные батареи не нуждаются в обслуживании механических элементов в виду их отсутствия, исключается механическая вибрация и шум. Снижение общих расходов на установку фотоэлектрических элементов позволило снизить стоимость киловатт-часа, полученной энергии. Этот факт приводит к возможности использования таких электростанций в условиях свободных площадей для их установки на судах [1, 2].

Если установка солнечных панелей (СП) на фермах, крышах домов и т.п. получила популярность, особенно в южных климатических поясах, то размещение СП на автономных, передвижных объектах ещё не доказало свою эффективность. Существует концепция применения солнечных батарей для катеров малого водоизмещения с электрической гребной установкой. Такие суда имеют ограниченную скорость хода и кратковременный режим работы, которые определяются значением емкости аккумуляторных батарей. Поэтому более перспективными будут судовые электростанции (СЭС) с применением комбинированных источников электроэнергии, как тепловых, так и возобновляемых [3-5].

Реализация комбинированной СЭС представлена на базе пассажирского теплохода пр. Р-51Э. Энергетическая система серийного теплохода включает в себя два главных дизеля мощностью 110 кВт каждый и дизель-генератор мощностью 19 кВт. С целью получения комбинированной СЭС выполнен расчет, который предполагает замену энергетических установок на дизель-генератор мощностью 250 кВт и установку двух гребных электродвигателей по 110 кВт каждый. В ходе проекта выполнена оценка возможности расположения перечисленного оборудования в технических помещениях, а также оценка остойчивости судна.

Исходя из площади навеса верхней палубы [6] определено количество солнечных панелей, а, в последующем, мощность (10 кВт) и напряжение (550 В) солнечной электростанции. В качестве накопителя электроэнергии выбрана аккумуляторная батарея емкостью 60 кВт*ч. Структурная схема энергетической системы СЭС представлена на Рисунке 1.



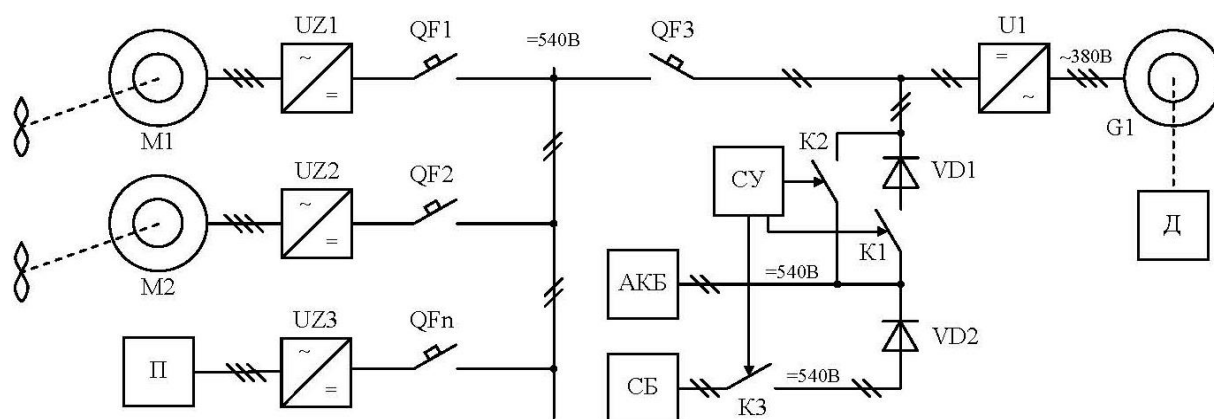


Рисунок 1 – Структурная схема комбинированной СЭС

На схеме показаны источники электроэнергии, которые объединены в цепи постоянного тока: дизель (Д) и синхронный генератор (G1) с выпрямителем (U1), солнечные батареи (СБ) и аккумуляторная батарея (АКБ). Отдача электроэнергии в цепь постоянного тока от аккумуляторной батареи выполняется через ключ K1 и обратный диод VD1. В случае необходимости, существует возможность заряда АКБ через ключ K2. Режим работы заряд-разряд выполняет система управления (СУ) по установленному алгоритму. Силовой инвертор UZ3 формирует на выходе трехфазное напряжение синусоидальной формы для питания судовых потребителей (Π), а для гребных электродвигателей (ГЭД) M1 и M2 питание поступает через преобразователи UZ1 и UZ2, соответственно. Они же выполняют регулирование параметров электродвигателей ГЭД для изменения скорости их вращения.

При благоприятных погодных условиях солнечная батарея выполняет заряд аккумуляторной батареи через ключ K3 и диод VD2, а в режиме «пиковых» нагрузок на электростанцию происходит сброс энергии через ключ K1 и диод VD1 для дополнительного питания цепи постоянного тока. Следовательно, при пусках судовых нагрузок влияние динамических процессов на синхронный генератор и приводной двигатель Д будет снижена. Кроме того, периодическая отдача возобновляемой энергии может привести к экономии топлива дизель-генератора.

Для исследования переходных процессов в различных режимах работы СЭС разработана имитационная модель по структурной схеме рис. 1 с учетом расчетных данных модернизации. В результате моделирования были получены диаграммы переходных процессов, анализ которых подтвердил правильность теоретических решений.

На диаграмме Рисунка 2 показано изменение тока АКБ при различных режимах работы СЭС. Для уменьшения времени моделирования, продолжительности переходных процессов заряда и разряда АКБ сокращены, что не влияет на характер переходных процессов.

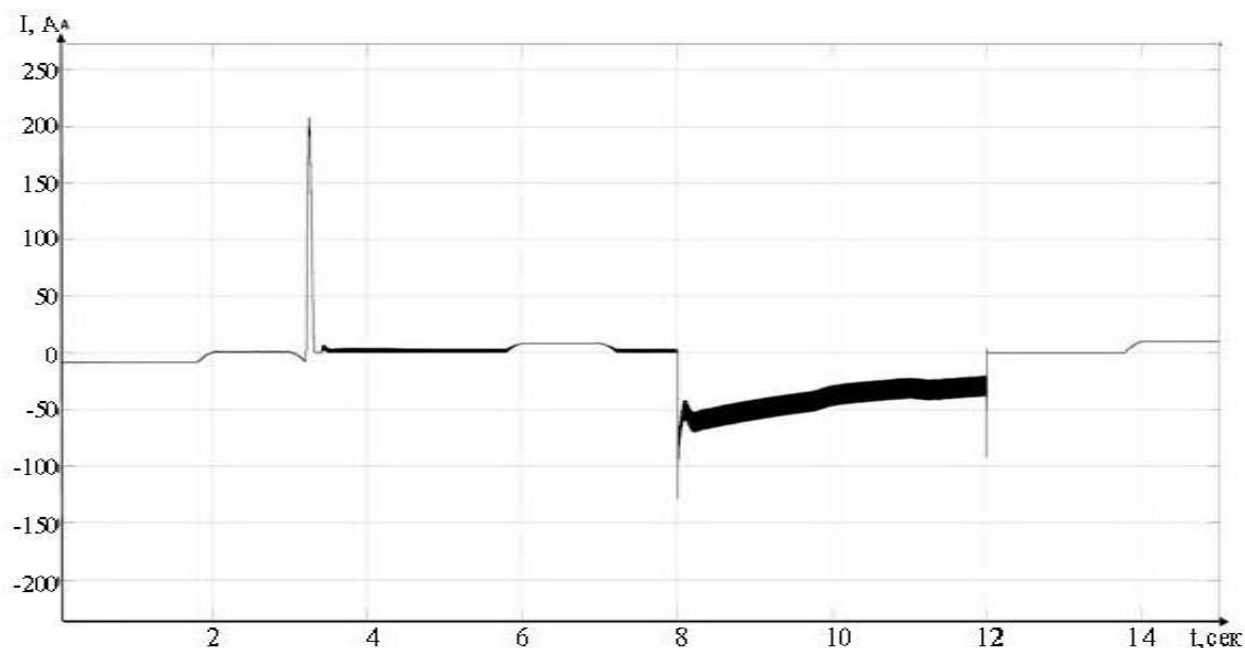


Рисунок 2 – Диаграмма изменения тока АКБ в различных режимах работы СЭС

Режимы работы СЭС, моделируются в следующей последовательности:

1. Обеспечение стояночной нагрузки от АКБ, что соответствует темному времени суток, интервал моделирования от 0 до 1 сек.
2. Зарядка АКБ и питание стояночной нагрузки от солнечной батареи в светлое время суток – от 1 до 3 сек.
3. Запуск дизель-генератора и подключение к шинам с 3 до 4 сек.
4. Зарядка АКБ и питание стояночной нагрузки от синхронного генератора в темное время суток от – от 4 до 5 сек.
5. Зарядка АКБ и питание стояночной нагрузки от синхронного генератора и солнечной батареи в светлое время суток - с 6 до 7 сек.
6. Обеспечение маневровой нагрузки гребной электрической установки (ГЭУ) и палубных механизмов от синхронного генератора и АКБ в темное время суток с интервалом моделирования с 8 до 9 сек.
7. Обеспечение маневровой нагрузки ГЭУ от синхронного генератора, солнечной батареи, а также АКБ, в светлое время суток - с 10 до 11 сек.
8. Обеспечение ходовой нагрузки и ходовой нагрузки двигателя от синхронного генератора, а АКБ выступает как буферный накопитель и заряжается от генератора в зависимости от загруженности сети в темное время суток - с 12 до 13,5 сек.
9. Обеспечение питанием потребителей и ГЭУ в ходовом режиме от синхронного генератора, солнечной батареи, а также АКБ, который работает как буферный накопитель - с 13,5 до 15 сек.

Полученная модель является адекватной, поскольку результаты моделирования соответствуют физическим свойствам реальных судовых установок.

Исходя из анализа определено, что имитационная модель позволяет выполнять исследование работы СЭС с целью согласования параметров различных источников электроэнергии, определения оптимальных параметров мощности солнечной батареи и емкости аккумуляторной батареи, оценки влияния судовых потребителей на работу генераторного агрегата и др.

Исследовательская работа настоящей имитационной модели может дать ответ на вопрос оптимальной конструкции солнечной батареи с точки зрения реализации величины выходного напряжения и экономического эффекта.

Список литературы:

1. Применение солнечных батарей на объектах морской инфраструктуры / С.В. Кононенко [и др.] // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. - 2018. - № 3. – С.101-106
2. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Варечкин Ю.В. Возобновляемые источники энергии в судовой электроэнергетической системе/ Вестник ВГАВТ. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО ВГАВТ, 2015.- 263-268 с.
3. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование параллельной работы генераторов в системе двойного рода тока (тезисы) Труды 20-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2018». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.
4. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование режимов работы судовой электроэнергетической системы двойного рода тока. Морская техника и технология. Научный журнал 1 февраля 2019. – Изд-во АГТУ, Астрахань, 2019 – с. 97-104.
5. Моделирование судовой электростанции со встроенной сетью постоянного тока в среде Matlab / О. А. Бурмакин, В. В. Гуляев, Ю. С. Малышев, С. В. Попов // Интеллектуальная электротехника. – 2021. – № 3(15). – С. 75-84. – DOI 10.46960/2658-6754_2021_3_75. – EDN ZMEUSS.
6. Справочник по серийным речным судам. – Т.10. М.: Транспорт,1994. – С. 4-8.

